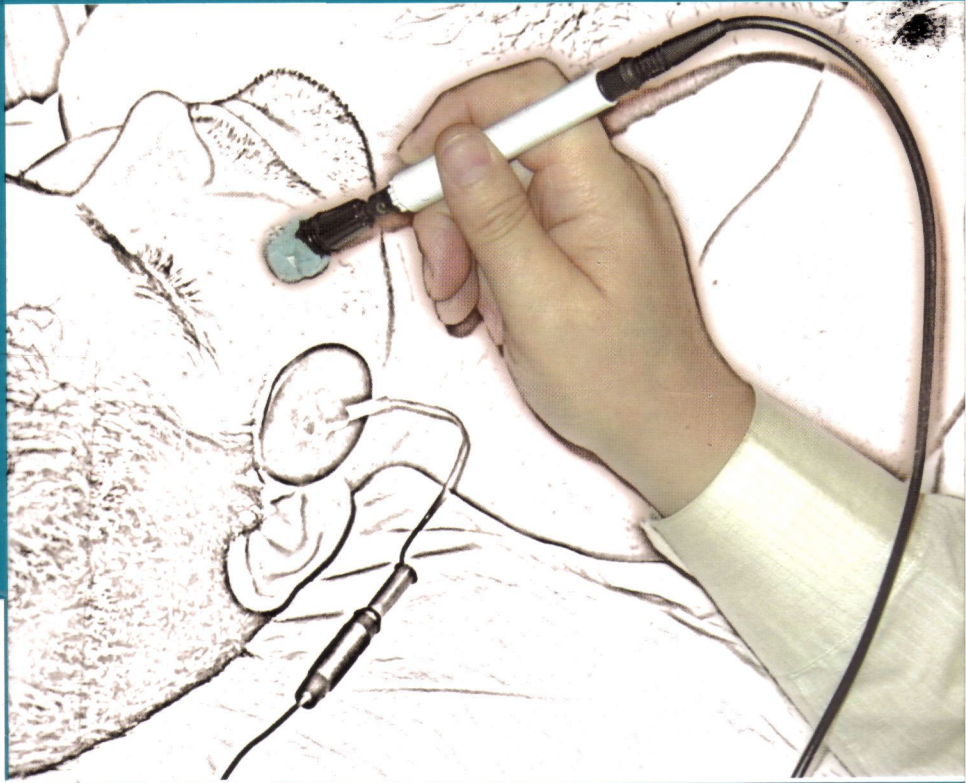


Rodríguez Martín

# Electroterapia en Fisioterapia

2a. EDICIÓN



EDITORIAL MEDICA  
**panamericana**

015-24  
2000

# ELECTROTERAPIA EN FISIOTERAPIA

2.<sup>a</sup> EDICIÓN

José María Rodríguez Martín  
Fisioterapeuta

*Universidad Católica del Maule  
Biblioteca Campus San Miguel*

EDITORIAL MEDICA  
**panamericana**

BUENOS AIRES - BOGOTÁ - CARACAS - MADRID - MÉXICO - SÃO PAULO

[www.medicapanamericana.com](http://www.medicapanamericana.com)

# Índice general

INTRODUCCIÓN A LA ELECTROTERAPIA.....	17
<b>CAPÍTULO I. PARÁMETROS FUNDAMENTALES DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.....</b>	<b>27</b>
Electricidad .....	27
Polaridad .....	28
Carga eléctrica .....	28
Diferencia de potencial, tensión eléctrica o voltaje .....	29
Fuerza electromotriz.....	29
Intensidad.....	30
Resistencia.....	31
Ley de Ohm.....	32
Potencia .....	32
Trabajo.....	33
Calor .....	35
Calor y temperatura.....	35
Velocidad de transmisión energética.....	36
Dosis o densidad de energía .....	36
Electromagnetismo .....	37
Inductancia (auto-inducción).....	38
Capacitancia (campo de condensador).....	38
Efecto anódico.....	39
Impedancia .....	40
Conductividad.....	42
Resistividad .....	42
Conductores de primer orden .....	42
Conductores de segundo orden.....	42
Dieléctricos .....	43
Intensidad constante.....	43
Tensión constante.....	44
Resistencia de los electrodos .....	44
Ciclo.....	45
Período .....	45
Frecuencia .....	45
Longitud de onda.....	47
Efecto batido o de interferencia .....	49
Efecto Joule .....	51
Movimiento Browniano.....	51

Agitación molecular .....	52
Formas de electricidad.....	52
Electricidad estática.....	52
Electricidad dinámica .....	53
Electrólisis y electroforesis .....	54
Ley de Faraday .....	55
Equivalente electroquímico de algunos metales.....	56
Espectro electromagnético .....	57
Radiaciones ionizantes y noionizantes .....	58
Espectro electromagnético de alta frecuencia .....	59
<b>CAPÍTULO II. CORRIENTES MÁS UTILIZADAS EN ELECTROTERAPIA.</b>	<b>61</b>
Clasificación según efectos sobre el organismo .....	61
Clasificación según modos de aplicación .....	62
Clasificación según frecuencias .....	62
Clasificación según la forma de onda.....	62
1. Flujo constante y mantenida la polaridad. Galvanica o corriente continua.....	66
2. Flujo interrumpido y mantenida la polaridad. Interrumpidas galvánicas.....	66
Impulsos.....	66
1) Impulsos aislados .....	69
2) Trenes .....	69
3) Aplicación mantenida .....	69
4) Barridos de frecuencia.....	69
3. Flujo constante e invirtiendo la polaridad. Alternas .....	70
Baja frecuencia .....	72
Media frecuencia .....	72
Alta frecuencia.....	72
4. Flujo interrumpido e invirtiendo la polaridad. Interrumpidas alternas .....	73
5. Moduladas en amplitud. Media frecuencia, Interferenciales, TNS, Magnetoterapia y otras .....	76
6. Moduladas en frecuencia. Barridos de media frecuencia, Interferenciales, aperiódicas de Adams.....	76
Moduladas en amplitud y frecuencia simultáneamente.....	78
7. Aplicación simultánea de varias corrientes.....	78
Otras corrientes .....	79
Corrientes bifásicas de alto voltaje.....	79
Viejas formas de onda.....	79
Nota aclaratoria acerca de las formas de onda.....	81
Sistema electrónico para electroestimuladores de baja y media frecuencia.....	82
<b>CAPÍTULO III. APLICACIÓN DE CORRIENTES DE BAJA Y MEDIA FRECUENCIA</b>	<b>87</b>
El aparato .....	88
El paciente.....	89
Dosis .....	91
Precisión en la dosis.....	93
1. Energía recibida.....	93
2. Tiempo de la sesión.....	94
3. Superficie de aplicación.....	94

4. Dosis o densidad de energía.....	96
5. Potencia media.....	96
El sistema de aplicación.....	98
Colocación de los electrodos.....	103
Influencia de la forma de onda.....	105
Protocolo para aplicar electroterapia.....	105
Protocolo.....	105
Consideraciones para evitar quemaduras en los pacientes.....	106
Puntos motores monopolares nerviosos y musculares.....	107
<b>CAPÍTULO IV. DISOLUCIONES Y SUS REACCIONES.....</b>	<b>119</b>
Ley del octete.....	121
Disoluciones, dispersiones coloidales y suspensiones (presión osmótica y oncótica). ..	125
Disoluciones.....	125
Coeficiente de solubilidad.....	126
Dispersiones coloidales.....	127
Clasificación de las dispersiones.....	127
Movimiento Browniano.....	130
Ósmosis.....	130
Acidez y alcalinidad.....	133
Ácidos.....	133
Tipos de ácidos.....	134
Hidróxidos o bases.....	135
Sales.....	135
Hidrólisis.....	137
Reacciones REDOX.....	137
Oxidación.....	137
Reducción.....	138
Isótopos.....	141
Distribución de elementos inorgánicos en sistemas biológicos.....	141
<b>CAPÍTULO V. GALVANISMO.....</b>	<b>145</b>
Efectos ascendente y descendente.....	148
Diferencia entre electrólisis y electroforesis.....	150
Fenómenos químicos del galvanismo.....	150
Efectos del galvanismo.....	156
Efecto electroforético por disociación iónica.....	156
Efecto de alteración metabólica.....	156
Efecto de hidrólisis.....	156
Efecto de electrosmosis.....	157
Efecto electroforético secundario.....	157
Efectos polares.....	157
Respuestas orgánicas al galvanismo.....	158
A. Efectos de respuesta metabólica.....	158
B. Efectos circulatorios y linfáticos.....	164
C. Efectos sobre el sistema nervioso.....	165
Sistema nervioso sensitivo.....	165
Sistema nervioso motor.....	166
Sistema nervioso central.....	166

Generador de corriente continua o galvánica.....	167
Dosis de la corriente galvánica.....	168
Cálculo de la resistencia corporal.....	171
Aplicación de un caso real buscando precisión en la dosis .....	172
Quemaduras con interrumpidas galvánicas.....	176
<b>CAPÍTULO VI. APLICACIONES Y TRATAMIENTO CON GALVANISMO...</b>	<b>181</b>
Proceso agudo.....	181
Proceso crónico.....	182
Baño galvánico.....	183
Tratamientos con la bañera galvánica .....	187
Quemadura electrolítica .....	190
La rizolisis o coagulación anódica de la raíz sensitiva.....	191
Microgalvanismo.....	193
Galvanopalpación .....	194
Hiperhidrosis.....	195
Contraindicaciones y precauciones con la galvánica.....	197
Imanterapia .....	199
Osteogénesis u osteolisis.....	200
Objetivación de los cambios biológicos .....	201
Curvas características del comportamiento biológico.....	204
<b>CAPÍTULO VII. IONTOFORESIS .....</b>	<b>207</b>
Experimento de Leduc .....	208
Experimento de Labatut.....	208
Ventajas de la iontoforesis .....	211
Desventajas de la iontoforesis .....	211
1. Cantidad del medicamento usado en cada aplicación.....	212
2. Concentración del fármaco .....	212
3. Estado del paciente y de su piel .....	212
4. Cantidad de medicamento introducido.....	213
5. Dimensiones del electrodo activo .....	220
6. Duración de la sesión .....	220
7. Frecuencia de las sesiones.....	221
8. Duración del tratamiento completo.....	221
Empleo de otras corrientes distintas a la galvánica para iontoforesis .....	222
Iontoforesis con Histamina.....	223
Iontoforesis con ácido acético .....	224
Polaridad de los medicamentos .....	225
Cambio de polaridad en iontoforesis.....	225
Indicaciones de la iontoforesis.....	226
Precauciones y contraindicaciones.....	226
Equipo para galvanización e iontoforesis .....	231
Objetivos que deben alcanzarse.....	232
Campos de interés para su aplicación .....	233
Material y métodos .....	234
Descripción del aparato.....	234
Características técnicas .....	234
Diagrama de bloques.....	235
Pretensiones y resultados .....	236

1. Electrodos .....	237
2. Dosis .....	237
3. Fármaco .....	238
4. Eléctricos .....	239
5. Trabajo .....	240
6. Batería.....	241
Iontoforesis con galvánica pura o galvánica al 50%.....	242
Parada del galvanizador .....	243
Regulación de intensidad .....	243
Sistema de voz del galvanizador .....	243
Fiabilidad del prototipo .....	243
<b>CAPÍTULO VIII. TERAPIA ANALGÉSICA POR CORRIENTES ESTIMULANTES. TÉCNICA DE ESTIMULACIÓN NERVIOSA TRANSCUTÁNEA SENSITIVA Y MOTORA.</b>	
Dolor .....	245
Tipos de dolor.....	246
A. Percepción subjetiva .....	246
B. Causas del dolor.....	247
C. Respuestas al dolor .....	247
D. Conducción del dolor (sistema aferente o sensitivo) .....	248
Teoría del dolor por vías sensitivas .....	249
Mecanismo de activación-inhibición.....	250
Neurorreceptor o terminación nerviosa.....	251
Los exteroceptores.....	251
Los interoceptores .....	251
Los propioceptores o mecanorreceptores.....	251
Teoría del dolor por nociceptores.....	253
Los nociceptores .....	253
Conducción del dolor.....	253
Las fibras miélicas .....	254
Las fibras amielínicas.....	254
Equipos y utillaje para analgesia con TENS.....	256
Diferencias entre TENS y EMS.....	257
Corrientes para la TENS (estimulador nervioso sensitivo y motor) .....	260
Impulso.....	261
Frecuencia.....	262
Reposos .....	262
Trenes .....	263
Aperiódicas o FM.....	264
Duración del tiempo de analgesia .....	265
Técnica para la analgesia con estimulación nerviosa transcutánea sensitiva y motora (TENS).....	266
1. Dolores de origen bioquímico.....	267
2. Dolores de origen neurálgico.....	269
3. Dolor de origen mecánico.....	273
Tendinitis aquilea.....	274
Dorsalgia.....	276
Tipos de corrientes usadas habitualmente para TENS .....	277

Cicatrización de heridas por estimulación nerviosa transcutánea .....	282
Aplicación combinada de estimulación sensitiva y ultrasonidos .....	283
Precauciones y contraindicaciones .....	284
Algunos casos .....	285
Dolor agudo de periartrosis escapulo humeral .....	285
Dolor espontáneo en la planta del pie .....	286
Dolor en cóndilo interno de rodilla .....	287
Dolor difuso en la rodilla .....	288
Ciática .....	289
Dolor muscular en dorsalgias .....	290
Tendinitis en general (epicondilitis, tendón del supraespinoso, tendinitis del rotuliano, cabeza larga del bíceps, etcétera) .....	293
Roturas musculares .....	295
<b>CAPÍTULO IX. DIADINÁMICAS O MODULADAS DE BERNARD .....</b>	<b>299</b>
Consecución de las corrientes diadinámicas .....	299
Consecución de la corriente polarizada de 50 Hz .....	300
Consecución de la corriente polarizada de 100 Hz .....	300
Base de galvánica .....	301
Monofásica fija (MF) .....	301
Difásica fija (DF) .....	302
Cortos períodos (CP) .....	302
Largos períodos (LP) .....	302
Ritmo sincopado (RS) .....	303
Efectos fisiológicos .....	303
Círculo vicioso del dolor .....	305
Dolor inicial (agudo) .....	306
Contractura .....	307
Isquemia .....	309
Acúmulo de catabolitos .....	309
Inflamación .....	309
Edema .....	310
Fibrosis .....	310
Precaución importante .....	312
Metodología de tratamiento con diadinámicas .....	313
Métodos de aplicación y colocación de electrodos .....	314
Tabla de aplicaciones .....	315
<b>CAPÍTULO X. EFECTO EXCITOMOTOR CURVAS DE RESPUESTA FISIOLÓGICA: INTENSIDAD TIEMPO (I/T) Y ACOMODACIÓN TIEMPO (A/T) .....</b>	<b>317</b>
Efecto excitomotor .....	317
Curvas Intensidad/Tiempo y de Acomodación/Tiempo .....	318
Características del electroestimulador .....	319
Características de la gráfica .....	320
Formas de obtener las curvas .....	322
Parámetros característicos de la curva con impulsos cuadrangulares (I/T) .....	325
¿Qué obtenemos realmente con la curva I/T o cuadrangular? .....	330
Parámetros característicos de la curva con impulsos de subida progresiva (A/T) ..	331
Observaciones sobre el fenómeno de acomodación .....	336



Enlentecimiento de los tiempos de respuesta fisiológica.....	338
Triángulo de utilidad terapéutica .....	340
Estimulación selectiva de músculos denervados .....	341
Forma de hallar el triángulo de utilidad terapéutica sin trazar las curvas de acomodación .....	344
Umbral de excitación nerviosa .....	346
Gráfica para curvas (I/T)-(A/T) de progresión logarítmica .....	347
Gráfica para curvas (I/T)-(A/T) de progresión lineal.....	348
Ficha de tratamiento .....	349
Ficha de seguimiento para exploraciones con curvas (I/T)-(A/T) .....	350
Análisis de las curvas (I/T)-(A/T).....	351
Resumen .....	353
Hiperexcitabilidad .....	353
Hipoexcitabilidad.....	354
Denervación severa .....	354
Fibrosis muscular.....	355
Denervación parcial.....	356
Tratamiento de parálisis facial.....	358
<b>CAPÍTULO XI. FARADIZACIÓN NEUROMUSCULAR.....</b>	<b>363</b>
Análisis de un tren de impulsos .....	364
1. Impulsos y reposos .....	364
Frecuencia de las farádicas .....	366
Tipos de fibras musculares .....	367
<i>Período de latencia (PL)</i> .....	368
<i>Período activo (PA)</i> .....	368
<i>Período de repolarización (P de Rp)</i> .....	368
<i>Período refractario (PRf)</i> .....	369
2. Trenes de impulsos.....	371
Tratamientos con farádicas .....	373
<i>Algunos músculos y su clasificación en estáticos o dinámicos</i> .....	375
Utilidad de la faradización .....	378
<i>Regularización del tono muscular</i> .....	379
<i>Tonificación moderada</i> .....	379
<i>Potenciación moderada</i> .....	380
<i>Bombeo circulatorio</i> .....	381
<i>Potenciación y alargamiento muscular</i> .....	382
Características mínimas para un equipo de faradización .....	382
Algunos casos .....	389
Denervación parcial.....	389
Degeneración fibrosante .....	390
Miopatías.....	391
Potenciación muscular.....	392
Elongaciones musculares ver también «Potenciación muscular».....	394
Electroestimulación funcional en lesionados medulares y otras afecciones neurológicas (FES) .....	401
Diseño y características mínimas de un estimulador de alto voltaje (TENS y EMS) .	403
Análisis detenido del neuroestimulador .....	404
Tipos de terapias posibles en el neuroestimulador .....	406

<b>CAPÍTULO XII. MEDIA FRECUENCIA, INTERFERENCIALES Y KOTZ ..</b>	<b>411</b>
Media frecuencia.....	411
Sistema para fijación de electrodos .....	412
Interferenciales clásicas .....	414
Tipos de modulación .....	415
Nivel de modulación en AM.....	417
Diferentes sistemas de media frecuencia .....	418
Media frecuencia de primera generación .....	418
Media frecuencia de segunda generación.....	419
Media frecuencia de tercera generación .....	419
Barridos de contorno triangular.....	420
Barridos de contorno trapezoidal.....	420
Barridos de contorno cuadrangular .....	421
Trenes de media frecuencia .....	422
Modulación en frecuencia fija .....	423
Modulaciones triangulares aisladas .....	423
Posible diseño de un equipo de media frecuencia .....	423
El vacuómetro.....	423
Electroestimulador de media frecuencia.....	425
Electrodos .....	428
Efecto de vector cambiante .....	430
Efectos sobre los tejidos vivos .....	431
Tejidos en los que actúa.....	431
Efectos sobre el músculo estriado .....	432
Barridos 0 a 10 Hz de contorno triangular.....	433
Barridos 0 a 100 Hz de contorno triangular.....	433
Barridos 80 a 100 Hz de contorno triangular.....	434
Efectos sobre el músculo liso.....	435
Barridos de 0 a 10 Hz de contorno triangular.....	435
Barridos de 0 a 100 Hz de contorno triangular.....	436
Barridos de 80 a 100 Hz, 150, 200 ó 250 Hz de contorno triangular .....	436
Barridos de 1 a 50 Hz de contorno cuadrangular .....	436
Efectos sobre el tejido conjuntivo .....	437
Barridos de 0 a 10 Hz de contorno triangular o frecuencia fija entre 1 a 6 Hz....	438
Barridos de 1 a 50 Hz de contorno cuadrangular .....	438
Efecto sobre las articulaciones .....	440
Efectos sobre el tejido nervioso.....	442
Barridos de 80 a 100 Hz de contorno triangular.....	443
Pseudoanestesia .....	445
Efectos sobre las disoluciones orgánicas.....	445
Modulación 0 Hz .....	445
Efectos sobre la piel .....	447
Otras formas de aplicar media frecuencia .....	448
Media frecuencia local.....	448
Media frecuencia con electrodos manoplas y vibrador de masaje.....	449
Media frecuencia combinada con ultrasonidos .....	450
Indicaciones.....	452
Precauciones .....	453
Contraindicaciones .....	453

Algunas aplicaciones.....	453
Potenciación muscular.....	453
Elongación muscular .....	457
<b>CAPÍTULO XIII. ALTA FRECUENCIA «TERMOTERAPIA PROFUNDA».</b>	<b>461</b>
Densidad de energía electromagnética .....	466
Clasificación de la alta frecuencia .....	468
Análisis y características de los sistemas usados .....	470
D'Arsonval.....	470
Diatermia .....	470
Onda corta .....	471
Ultracorta.....	471
Microonda.....	472
Diapulse o alta frecuencia pulsada .....	472
Calor y temperatura.....	473
Transmisión del calor.....	474
Dosis.....	474
Tiempo de la sesión.....	475
Alta frecuencia atérmica .....	478
Control de la potencia con pulsátil.....	480
Generación de calor con pulsos .....	481
Efectos fisiológicos.....	482
Indicaciones.....	485
Precauciones .....	485
Exploración y preguntas protocolarias a los pacientes antes de aplicar termoterapia profunda de alta frecuencia.....	486
Contraindicaciones .....	487
Onda corta .....	488
Microonda .....	490
Efecto serie.....	492
Efecto paralelo .....	492
Jaula de Faraday .....	493
<b>CAPÍTULO XIV. MAGNETOTERAPIA.....</b>	<b>495</b>
Generación de campos magnéticos .....	501
Formas de los pulsos magnéticos .....	502
Frecuencia de la magnetoterapia .....	504
Piezoelectricidad del hueso.....	506
Efecto Hall .....	507
Equipo de magnetoterapia.....	509
Colocación del paciente.....	512
Aplicaciones según el efecto biológico .....	513
Precauciones y contraindicaciones.....	513
<b>CAPÍTULO XV. ULTRASONIDOS.....</b>	<b>515</b>
Forma de generar los ultrasonidos.....	515
Continuo.....	516
Pulsátil.....	517
Velocidad de conducción y longitud de onda .....	518
Forma de aplicar los ultrasonidos .....	519

Equipos aplicadores de ultrasonidos.....	521
Selector de 1 ó 3 Mhz.....	522
Regulación de potencia en W/cm <sup>2</sup> o potencia total del cabezal.....	523
Potencia real aplicada y absorbida.....	523
Tiempo real de la aplicación.....	523
Sobrecarga del cabezal.....	523
Medidor de salida en el cabezal.....	524
Selector para varios valores de pulsátil.....	525
Superficie eficaz del cabezal.....	525
Dosis real.....	526
Algunos casos.....	528
Caso primero.....	528
Caso segundo.....	528
Caso tercero.....	529
Profundidad de penetración.....	529
Zona de conducción y de absorción.....	530
Reflexión.....	531
Refracción.....	531
Ondas estacionarias.....	531
Divergencia del haz.....	531
Nódulos de intensidad.....	532
Dispersión por la zona.....	532
Zonas de concentración.....	532
Ondas de retorno.....	532
Efectos sobre el organismo.....	533
1. Aumento del movimiento Browniano y calor.....	535
2. Micromasaje tisular.....	536
3. Masaje del cabezal.....	537
Tratamiento combinado de ultrasonidos con electroterapia.....	538
1. Estímulo sensitivo de las terminaciones superficiales para desencadenar reflejo motor sobre musculatura lisa de los vasos linfáticos.....	539
2. Estímulo sensitivo intenso que desencadene respuestas neurovegetativas de vasodilatación, enrojecimiento y aumento del metabolismo en la zona.....	540
3. Corrientes que conserven un alto componente galvánico (como las cuadrangulares o diadinámicas), con el objetivo de influir en la electroquímica de la zona tratada.....	540
4. Corrientes sin componente galvánico (de media frecuencia), para conseguir estímulos sensitivos fácilmente soportables sin riesgo de quemadura.....	541
5. Corrientes con o sin componente galvánico (de baja o media frecuencia), para conseguir estímulos motores en forma de vibración muscular.....	542
6. Localización y tratamiento de puntos gatillo mediante corrientes de baja frecuencia que generen importante estímulo sensitivo sin componente galvánico..	542
Características mínimas para un equipo de ultrasonidos.....	543
Ondas de choque.....	544
Indicaciones de los ultrasonidos.....	546
Algunas dosis recomendadas.....	546
Precauciones.....	551
Contraindicaciones.....	551

<b>CAPÍTULO XVI. INFRARROJOS</b> .....	553
Dosis.....	556
1. Potencia recibida en la superficie corporal.....	557
2. Superficie corporal considerada como tratada.....	558
3. Tiempo que se aplica.....	560
Diferencias entre los IR estándar y los IR láser.....	561
Diseño de un equipo para aplicación de IRA.....	563
Protocolo para aplicar IRA.....	565
Efectos fisiológicos.....	565
Velocidad del aporte energético.....	566
Respuesta fisiológica.....	566
Indicaciones.....	567
Precauciones.....	567
Contraindicaciones.....	568
<b>CAPÍTULO XVII. TERAPIA LÁSER</b> .....	569
Generación de la luz.....	570
Luz no coherente.....	572
Ejercicios prácticos.....	575
Leyes de la luz.....	575
Teoría corpuscular.....	576
Teoría ondulatoria.....	576
Direccionalidad.....	576
Reflexión.....	577
Refracción.....	577
Policromatismo.....	577
Ley de la distancia o divergencia.....	578
Ley de la concavidad.....	582
Leyes de la absorción.....	583
Ley de la energía recibida por tiempo de aplicación.....	585
Difracción y luminiscencia.....	585
Comparación con el LÁSER.....	586
Coherencia.....	587
Monocromatismo.....	587
No divergencia.....	588
Alta potencia.....	588
Tipos de <i>láser</i> .....	589
Método de producción.....	589
LÁSER de gases.....	589
LÁSER de diodo.....	590
LÁSER de rubí.....	592
Banda de emisión y niveles de potencia.....	593
Modos de aplicación.....	593
Aplicación con sistemas de cañón.....	593
Aplicación con sistemas de diodo.....	596
Métodos de aplicación.....	596
Tipos de LÁSER y sus efectos.....	599
Láser de He-Ne.....	599
Láser de CO <sub>2</sub> .....	599
Láser de Ar-Ga.....	599
Parámetros de la terapia láser.....	600

Dosis o densidad de energía.....	600
Datos técnicos aportados por el fabricante .....	601
Potencia.....	602
Formulación para calcular la dosis y potencia media .....	602
Algunos casos.....	605
Primer caso .....	605
Segundo caso .....	605
Tercer caso .....	606
Frecuencia del pulsado.....	607
Cuarto caso .....	608
Quinto caso .....	608
Sexto caso .....	609
Boquillas de separación.....	611
Séptimo caso .....	611
Equipos de láser .....	612
Láser puntual.....	612
Láser de cañón.....	614
Láser de cono divergente.....	616
Efectos del láser .....	618
Símil mecánico de la bomba $\text{Na}^+ \text{-K}^+$ .....	619
Dosis recomendadas .....	622
Protocolo de dosificación .....	623
Procesos ulcerosos .....	624
Varices .....	625
Tenosinovitis .....	625
Capsulitis y bursitis .....	626
Periostitis.....	626
Entesitis.....	626
Procesos artríticos y artrósicos .....	627
Fibromialgia, fibroneuralgia, fascitis .....	628
Desgarros tisulares, derrames y hematomas .....	628
Contraindicaciones y precauciones .....	628
<b>CAPÍTULO XVIII. BIOFEEDBACK Y MIOFEEDBACK</b>	
<b>EN FISIOTERAPIA</b> .....	633
Definiciones.....	633
Sistema de biofeedback .....	634
Ventajas de las técnicas de biofeedback y de miofeedback .....	634
Desventajas de las técnicas de biofeedback y de miofeedback.....	635
Proceso del miofeedback .....	635
Método de trabajo con el miofeedback .....	636
Combinación de miofeedback con estimulación eléctrica.....	637
Descripción de un equipo básico de miofeedback .....	638
Protocolo de una sesión de miofeedback .....	640
Indicaciones del miofeedback.....	641
Indicaciones y aplicaciones del biofeedback.....	642
Biofeedback en psicología .....	642
Biofeedback en actividades artístico .....	643
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	645
<b>ÍNDICE ALFABÉTICO</b> .....	647

## Introducción a la electroterapia

La *electroterapia*, por definición, consiste en la aplicación de energía electromagnética al organismo (de diferentes formas), con el fin de producir sobre él reacciones *biológicas y fisiológicas*, las cuales serán aprovechadas para mejorar los distintos tejidos cuando se encuentran sometidos a enfermedad o alteraciones metabólicas de las células que componen dichos tejidos, que a su vez forman el organismo vivo humano y animal en general.

El comportamiento eléctrico del organismo humano presenta una serie de características y propiedades que todo fisioterapeuta debe conocer para poder trabajar con un mínimo de coherencia cuando aplica cualquiera de las «corrientes» que habitualmente ofrecen los distintos equipos y dispositivos destinados a *tratamientos físicos*.

El organismo es un conductor de segundo orden, es decir, los iones contenidos en las disoluciones y dispersiones coloidales transmitirán la energía aplicada. Bajo el punto de vista eléctrico y magnético, podemos dividir el organismo en:

- tejidos poco conductores,
- tejidos medianamente conductores,
- tejidos relativamente buenos conductores y
- tejidos generadores de electricidad.

Fundamentalmente, la mayor o menor conductividad va a depender del mayor o menor contenido de agua como disolvente y sus solutos (disoluciones y dispersiones coloidales), los cuales van a ser conductores fundamentales de la energía eléctrica por el organismo. Es decir, el agua sola y por sí misma no es demasiado buena conductora, pero sí, en cambio, lo son los solutos en ella disueltos.

Según lo antes expuesto, el hueso, la grasa, la piel callosa y gruesa, el pelo, las uñas, serán poco conductores.

Por otro lado, la piel, tendones, fascias gruesas y cartílagos se portarán como medianamente conductores.

Y, finalmente, la sangre, la linfa, líquidos intra y extracelulares, tejidos musculares, vísceras, hormonas, tejido conjuntivo, líquidos y jugos orgánicos y el tejido nervioso van a presentar relativamente buena conducción por su proporción de agua y la cantidad de electrolitos que sustentan.

La energía eléctrica se desplaza por el organismo en forma de *electrones asociados a iones* que se moverán por la fuerza electromotriz aplicada:

- a) bien con electrodos procedentes de una fuente de energía externa,
- b) o bien por las cargas internas del organismo.

Del punto anterior deducimos que dentro del organismo se desplazan sustancias y elementos químicos que componen los tejidos, los cuales funcionan adecuadamente dependiendo:

- de las distintas proporciones de las sustancias antes dichas,
- de su facilidad para desplazarse y
- de su capacidad para producir reacciones bioquímicas que desencadenan el trabajo encomendado a cada tejido.

También sabemos y recordamos que los iones son atraídos por la polaridad de carga eléctrica opuesta y repelidos por la polaridad del mismo signo; esto quiere decir que unos iones se moverán en un sentido y otros lo harán en el opuesto, rompiendo las proporciones y composición de las disoluciones que se ven afectadas por la corriente eléctrica de aplicación externa.

Ante esta situación, cabe preguntarse:

- ¿Sabemos qué pretendemos disociar o desequilibrar químicamente?
- ¿Sabemos cuáles y cuántas son las sustancias que se encuentran en un determinado punto que será sometido a corriente eléctrica?
- ¿Sabemos qué ha pasado dentro de una disolución después de haber aplicado una corriente?
- ¿Sabemos qué ocurre con las glándulas y hormonas bajo fuerza electromotriz?
- ¿Conocemos suficientemente las reacciones bioquímicas como para entenderlas?
- ¿Cuáles son los efectos fisiológicos curativos y cuáles los no deseables?
- ¿Conocemos la energía eléctrica o magnética propia del organismo y sus manifestaciones o funciones?
- ¿Cómo interferimos en las cargas eléctricas propias del organismo cuando aplicamos otras desde fuera?



- Siempre que aplicamos un tipo de corriente, ¿se producen o no alteraciones químicas?
- ¿Cuáles son las intensidades o potencias adecuadas para no quedarse corto en efectos, o por el contrario, no pasarse?
- ¿Tenemos las técnicas adecuadas para averiguar los distintos umbrales de aplicación?
- ¿Qué produce realmente el calor dentro de los tejidos con las diversas corrientes?
- ¿Cuándo cambiaremos el concepto de dosis de la energía aplicada por la de energía recibida?
- ¿Nos vamos a conformar siempre con el empirismo superficial o intentamos entrar en los secretos que todavía nos reserva este tema?
- ¿Cuántos julios por centímetro cuadrado recibe un paciente cuando es colocado un «rato» bajo la lámpara de infrarrojos?
- ¿Seguiremos considerando como científicos los resultados de tanteos estadísticos aunque las bases del experimento en cuestión estén mal planteadas?

Estas y otras muchas preguntas pasan por la mente del autor —y seguro que otras tantas se le ocurren al lector—, las cuales nos plantean crudamente el poco conocimiento que tenemos acerca del funcionamiento, efectos y consecuencias de las distintas corrientes o formas de aplicar electricidad al organismo cuando hacemos las aplicaciones en nuestras terapias cotidianas.

*Es fundamental establecer los sistemas adecuados de dosificación a fin de que la energía aplicada consiga los objetivos pretendidos; el exceso acarreará efectos secundarios no buscados y el defecto no alcanzará las pretensiones marcadas.*

En los últimos tiempos, estamos observando una importante renovación de los equipos de electroterapia; unas veces, obedeciendo a mejoras en las técnicas y perfeccionamiento de la electrónica; otras, para ampliar y corregir insuficiencias de los equipos de anteriores generaciones y modelos; y, por qué no, otras, por razones puramente de mercadotecnia. El profesional bien informado sabrá filtrar y depurar su mejor elección **sin dejarse influir por el «discurso de moda» creado para vender.**

*No obstante, los fisioterapeutas debiéramos establecer la estandarización en cuanto a la nomenclatura se refiere, en lugar de vernos obligados a una lucha cotidiana ante los diferentes sistemas de trabajo aportados por cada fabricante. Lo lógico sería que éstos se adaptaran a un sistema de trabajo establecido por el profesional.*

Aparentemente, en estos últimos años, se está produciendo una reaparición de las terapias físicas basadas en determinadas formas de corrientes de alta frecuencia: la terapia *láser*, la magnetoterapia, ciertas formas de aplicaciones y aparatos con nombres muy llamativos, pero son corrientes que en su día cayeron en desuso, etcétera.

Desde estas páginas se convoca a los fisioterapeutas al reto de:

- establecer la nomenclatura adecuada en la electroterapia;
- aclararnos las ideas sobre la electroterapia;
- preguntarnos el porqué del funcionamiento *bioeléctrico*;
- investigar nuevas posibilidades;
- ampliar nuestras bases bioquímicas y bioeléctricas;
- evitar apoyarnos únicamente en los resultados estadísticos obtenidos sobre los pacientes y
- aprender o entender las técnicas clásicas para después evolucionar y asimilar las nuevas apariciones con la suficiente base científica, como para no caer en la trampa de creernos las maravillas de ciertos «inventos» que aplicamos como autómatas con la consiguiente pérdida de calidad profesional, o para llegar a la conclusión, precipitada y alimentada por la ignorancia, de que «la electroterapia no sirve para nada».

Es muy posible que dispongamos de una herramienta muy potente como terapia, con la consiguiente responsabilidad de saberla manejar adecuadamente. Lo demuestra el siguiente hecho: si aplicamos determinados niveles (altos) en intensidad o potencia, producimos alteraciones nocivas e irreversibles. Sin embargo, si los niveles son muy bajos, no llegamos a conseguir ni tan siquiera influencias sobre el metabolismo local.

Si el autor consigue que el lector sea capaz de aplicar y entender...

- cómo se trata una denervación;
- cómo actúan las técnicas de analgesia;
- qué es una iontoforesis;
- cuándo se deben aplicar farádicas;
- cuándo impulsos aislados;
- cuándo de subida progresiva;
- cuándo cuadrangulares;
- qué son las *curvas* I/T-A/T;

- para qué sirven;
- cómo se hacen;
- que la energía eléctrica no es lo mismo que la energía cinética de ultrasonidos;
- que es fundamental una adecuada dosificación;
- que el *láser* es simple luz y la luz energía electromagnética;
- conocer los julios por centímetro cuadrado recibidos bajo una lámpara de infrarrojos;
- etcétera,

el objetivo estará cumplido, por la contribución a la mejora de técnicas que a los fisioterapeutas nos son propias y «tenemos que dominar». *El conocimiento será la mejor arma contra el intrusismo y el autoritarismo parasitario.*

El lector se encontrará con que muchos conceptos se repiten con cierta frecuencia a lo largo de temas o capítulos. Con ello se trata de:

- relacionar las distintas manifestaciones que puede tener una determinada ley física,
- ver un efecto fisiológico bajo diversas circunstancias,
- variedad de formas de una técnica,
- la misma definición enfocada bajo distintos puntos de vista,
- como refuerzo de memorización,
- entender lo que en otro punto no se terminó de captar o aprender, para no tener que volver atrás en la lectura, buscando aclarar dudas de conceptos poco sedimentados y, finalmente,
- aprender a salirse de los manidos y encorsetados protocolos que nos conducen a errores y contribuyen a frenar el avance en los conocimientos.

Asimismo, tal vez el lector pueda pensar que esta obra contiene un número exiguo de casos concretos, qué técnicas, y cómo se aplican, para resolver determinado problema o patología, es decir, «poco recetario». Ya abundan obras que se dedican a ello, pero, dado que no se encuentran en ellas soluciones adecuadas, e incluso, en desacuerdo con la experiencia del autor, este libro se limita a aclarar las técnicas generales y el porqué funcionan y cuáles son sus efectos fisiológicos, pues cualquier «técnico especializado» en tratamientos físicos (fisioterapeuta), con esos datos, será capaz de concretar cada situación particular.

De lo que el autor esté convencido, será escrito sin dudas; lo relativamente demostrable se dejará entrever haciendo referencia a ello; y si, por último, se callan ciertas teorías o prácticas, será porque el autor no está convencido de su utilidad o por total desacuerdo.

El autor manifiesta su «desacuerdo» con los autores que añaden al final de cada capítulo una extensa lista de obras — «si están en inglés mejor» —, pero cometen errores básicos en sus exposiciones, de manera que, si verdaderamente hubieran leído todos los trabajos en los que dicen apoyarse, realmente no caerían en fallos tan fundamentales.

Desde hace algún tiempo, se considera como tema trascendental y básico la homologación y seguridad en los elementos constructivos de los equipos, así como los «certificados de calidad». Pero no se limitan las ventas a personas no entrenadas para su manejo ni se manifiestan preocupaciones sobre sistemas de control que garanticen la dosificación o el control eficaz de la energía aplicada al paciente. Es norma que los sistemas electrónicos sufran deterioro y pérdida en sus características, con sus consiguientes caídas de potencia u otros parámetros, pero no se exige añadir controles de calibrado y reajuste basado en la salida real.

Por otra parte, la tendencia actual es la de evitar las aplicaciones personalizadas y bien realizadas con la debida atención profesional, sustituyendo la dedicación del fisioterapeuta por aplicaciones automáticas y «bajas en coste económico», aunque impliquen posibles riesgos de mala práctica. Los profesionales no debemos permitir que la economía predomine sobre la profesionalidad terapéutica.

Como bibliografía recomendable, basta con ponerse al día en:

- fisiología general,
- fisiopatología,
- fisiología del sistema nervioso neurovegetativo,
- biomecánica,
- sistema linfático,
- bioquímica y
- un buen repaso de la física estudiada (aunque actualizada) en el bachillerato.

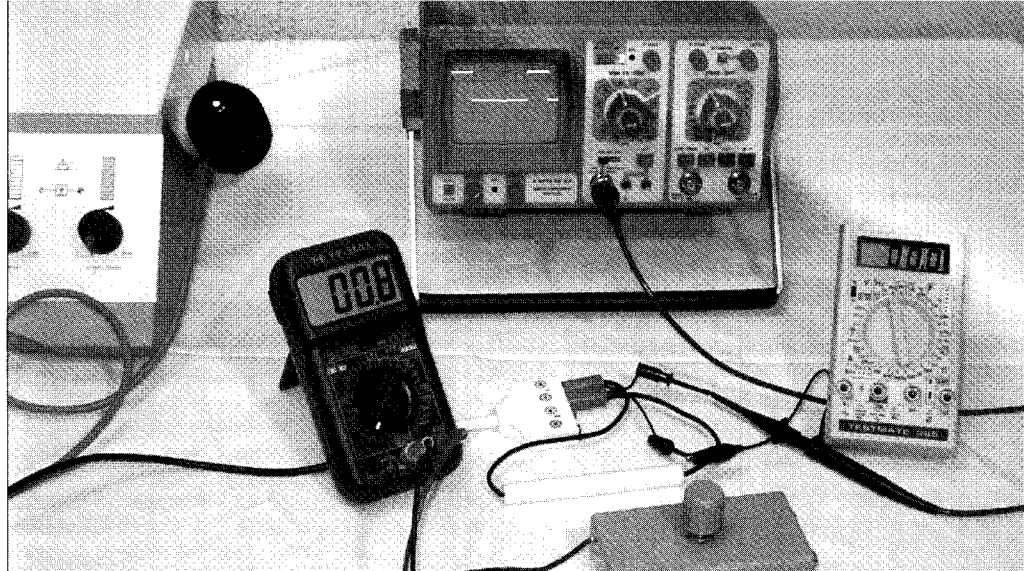
Básicamente, estos capítulos están inspirados por la experiencia, autocrítica, textos de fisiología, conocimientos de electroquímica, viejas obras de principios de siglo (difícilmente asequibles; sin embargo, de gran utilidad) y, finalmente, las dudas que mueven a analizar cuanta literatura sobre el tema cae en las manos del autor bajo una actitud crítica y «es de esperar» que objetiva.

Tampoco se incluirán porcentajes de resultados, dado que, si partimos de técnicas y bases fisiológicas dominadas y ciertas, el resultado siempre se aproximará al 100%. De no ser así, la causa se hallará en la no indicación, en el mal dominio de la técnica, en no conocer la fisiopatología, en no entender los efectos en el organismo o la interferencia de parámetros desconocidos que nos descontrolan los resultados. Basarse solamente en resultados estadísticos *a posteriori* puede resultar cientifismo de ignorantes.

**José M.<sup>a</sup> Rodríguez Martín**

**Las patologías degenerativas derivan de otras lesiones –fundamentalmente, por disminución en la función inervadora– y suelen tener su origen en alteraciones biomecánicas. Buscad el tratamiento en la función y a distancia de la zona sintomatológica. Obtendréis los mejores resultados.**

**José M.<sup>a</sup> Rodríguez Martín**



## CAPÍTULO I

# Parámetros fundamentales de la energía eléctrica

Debemos conocer los parámetros, efectos y comportamientos de la energía eléctrica y magnética que las respuestas de la materia viva ante dicha energía. Todo ello bajo el punto de vista de la fisioterapia, lo que implica un cierto conocimiento de la física, de manera que tengamos claros los conceptos y podamos usar el mínimo de formulario, pero suficiente como para aplicar cualquier técnica de *electroterapia*.

### Electricidad

No es otra cosa que la manifestación de la energía de los electrones (más o menos concentrados) que normalmente proceden de la última capa de los átomos que se aglutinan o desplazan de unos a otros, produciendo fenómenos que iremos viendo.

Este movimiento de electrones está cuantificado y estudiado básicamente en las leyes de Ohm, de Joule, de Faraday y en la electroquímica.

Las magnitudes más importantes que manifiesta la electricidad son:

- polaridad,
- carga eléctrica,
- diferencia de potencial o tensión eléctrica,
- intensidad,
- resistencia,
- potencia,

- efecto electromagnético,
- capacitancia,
- inductancia,
- resistividad,
- (impedancia),
- efecto anódico (o sombra de la carga).

## Polaridad

Para que aparezca movimiento de electrones, tienen que existir zonas donde *escaseen* y zonas con *exceso*. Dado que la materia tiende a estar eléctricamente *equilibrada*, se produce un movimiento desde donde abundan hacia donde faltan. La zona con *déficit se encuentra cargada positivamente (+) o ánodo* y la zona con *exceso se encuentra cargada negativamente (-) cátodo* (Fig. 1. 3).

Se podría decir que la lógica del lenguaje nos indica lo contrario, [(-) allí donde escasean y (+) donde abundan], pero antes de conocer la estructura del átomo, se pensaba que las cargas eléctricas se desplazaban de (+) a (-), para descubrir, tras los hechos, que se estaba empleando la nomenclatura al contrario de la realidad. A pesar de ello, persiste que (+) es defecto de cargas eléctricas y (-) exceso de cargas eléctricas con el fin de mantener la nomenclatura inicial.

Más adelante se insistirá en la aclaración en relación con las cargas eléctricas, polaridad, fuerza electromotriz, etc., cuando se aplica a una disolución o cuando la disolución es la generadora.

Son dos fuerzas opuestas y de igual magnitud, pues con la misma fuerza atrae hacia sí el (+) como repele el (-) fuera de sí.

## Carga eléctrica

Es la cantidad de electricidad (número de electrones) disponible en un determinado momento en un conjunto delimitado de materia o en un acumulador (batería, pila); su cuya unidad es el *culombio*, que aproximadamente es  $6,25 \cdot 10^{18}$  (6,25 trillones de electrones) (96.500 culombios = a un mol de electrones). Si por un conductor eléctrico pasan los electrones contenidos en la *carga* de un culombio cada segundo, está pasando 1 Amperio de Intensidad (Fig. 1. 1). Comparando el fluido eléctrico con un fluido hidráulico, diríamos que la carga son los litros disponibles en el depósito.

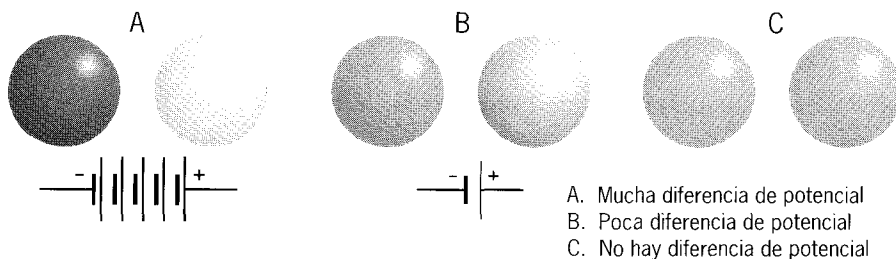


Figura 1. 1.



## Diferencia de potencial, tensión eléctrica o voltaje

Es la fuerza «impulsora» que induce a los electrones a desplazarse de una zona con exceso a otra con déficit. Dicha fuerza recibe también el nombre de *fuerza electromotriz*. La compararíamos con la presión del agua u otro fluido cuando se encuentra en recipientes a distinta altura. Su unidad es el *voltio* (V) (Fig. I. 2).

Diferencia de potencial es lo que habitualmente denominamos *tensión* o *voltaje*. Para medirlo, la energía eléctrica debe manifestarse en forma estática. Si ambas cargas que se comparan se las comunica por un conductor, se produce el trasvase de electrones de una a la otra, desapareciendo progresivamente la diferencia de potencial de manera inversa a como se produce el trasvase de electrones.

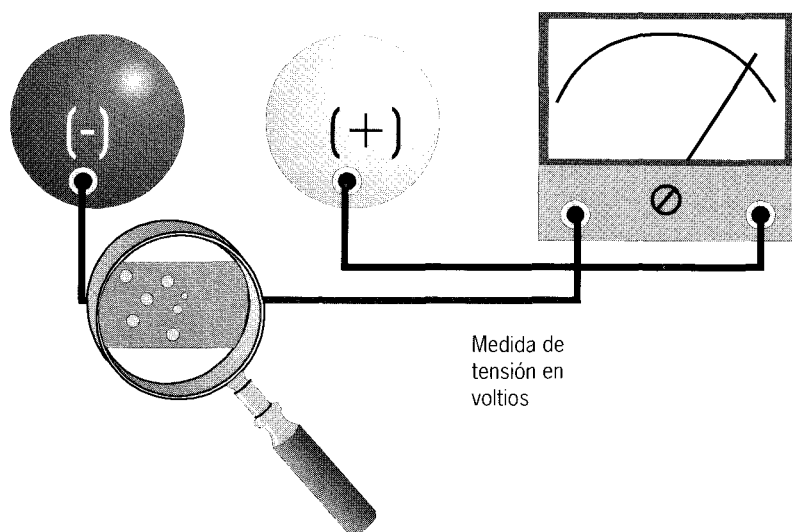


Figura I.2.

## Fuerza electromotriz

Es la fuerza que trata de devolver el equilibrio eléctrico a las cargas eléctricas y a los iones (átomos desequilibrados eléctricamente) provocando el movimiento de electrones desde donde abundan hacia donde escasean.

- a) Si el desequilibrio es (+) (defecto de electrones), genera *succión* sobre otras cargas eléctricas próximas y de signo (-).
- b) Si el desequilibrio es (-) (exceso de electrones), genera *repulsión* o *intento de salto* a otras cargas eléctricas próximas y de signo (+) (Fig. I. 3).

Cuanto mayor sea la diferencia de potencial eléctrico entre las dos cargas que se comparan, mayor será la fuerza electromotriz que se genera entre ambas, de forma *directa* a la diferencia entre las cargas e *inversamente proporcional* al cuadrado de la distancia que las separa. En el circuito hidráulico, será el parámetro de la presión.

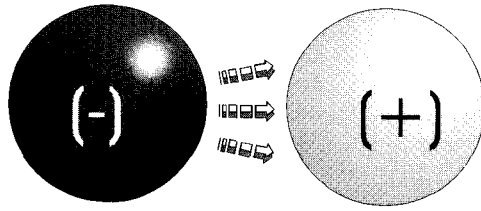


Figura 1. 3.

## Intensidad

Es la cantidad de electrones que pasan por un punto en un *segundo*. Su unidad es el Amperio (A). Se representa con (I).

Si pudiéramos contemplar el referido paso de electrones por el conductor, veríamos cómo se mueven en sentido del polo (-) al polo (+), es decir, de donde abundan a donde escasean (Fig. 1. 4). De otro modo: el número de litros que pasan por una tubería en la unidad de tiempo.

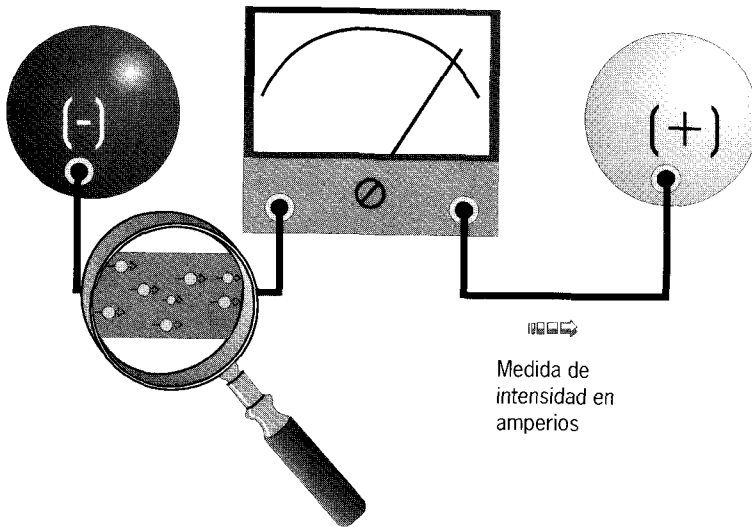


Figura 1. 4.

Pero en ocasiones nos vamos a encontrar con referencias a la idea de que o a que el origen de la corriente es el polo positivo o ánodo. Habría que aclarar que, más que paso de corriente, debemos hablar de: *generador de fuerza electromotriz* (huecos eléctricos) para producir corriente eléctrica. De hecho, son iguales y opuestas, tanto la del (-) emitiendo electrones como la del positivo succionando electrones para ocupar los huecos creados.

La intensidad es el parámetro que habitualmente denominamos *corriente eléctrica* y su medida se pondrá de manifiesto siempre que haya paso de energía eléctrica por un punto.

## Resistencia

Es la fuerza de freno que opone la materia al movimiento de los electrones cuando circulan a través de ella (Fig. 1. 5). Luego, esta característica no es propia de los parámetros de la electricidad, sino de la materia al ser sometida a esta energía. Su unidad es el ohmio. Se representa con ( $\Omega$ ) o con (R). Sería la dificultad que ofrece la tubería en un circuito hidráulico al paso del fluido.

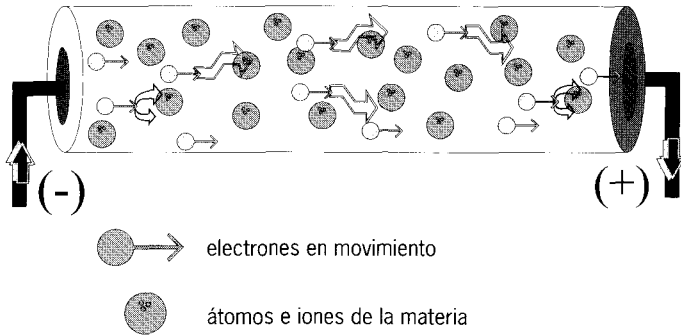


Figura 1. 5.

La resistencia en la materia viva se presenta bastante variable, dependiendo de su *composición* y del *tipo de corriente* que circule por ella. Si la sustancia que compone la materia es rica en líquidos y disoluciones salinas, será buena conductora.

Cuando la energía eléctrica debe superar varios elementos resistivos en serie (uno tras otro) (Fig. 1. 6), el efecto resistivo es sumativo. Pero, si las resistencias se colocan paralelamente entre sí (Fig. 1. 7), el resultado resistivo del circuito es inverso a la suma de los valores parciales, es decir, la energía circulará con más facilidad y, además, por la de menor resistencia.

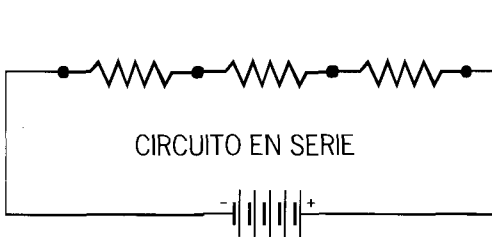


Figura 1. 6.

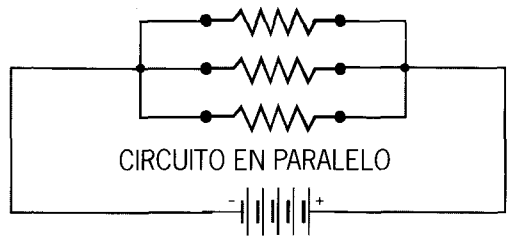


Figura 1. 7.

En general, según la impedancia de la materia sometida al paso de energía eléctrica, si la energía eléctrica que se aplica es de forma oscilante y alta frecuencia, la materia mostrará menor resistencia que si fuera de baja frecuencia. Si la energía eléctrica que se aplica presenta mucha diferencia de potencial (voltaje), la materia presenta menor resistencia. Pero, si se intenta con poca diferencia de potencial, la resistencia será alta.

Suponiendo que aplicamos energía eléctrica sin oscilaciones, es decir, de forma *continua* (galvanismo), podemos hallar sus respectivos parámetros con las siguientes fórmulas de la ley de Ohm (Fig. 1. 8).

## Ley de Ohm

La ley de Ohm establece las relaciones existentes entre los distintos parámetros eléctricos mediante una ecuación en la que dos variables nos conducen a la incógnita.

Como incógnita, podemos tener la resistencia de un conductor o de un circuito, el voltaje de entrada o de caída en un circuito, la intensidad consumida, la potencia, el trabajo, el tiempo necesario para lograr un trabajo, etcétera.

Una forma fácil y resumida de trabajar con esta ley se aprecia en la figura 1. 8.

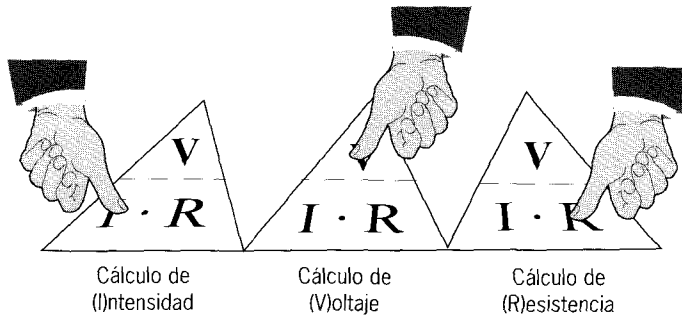


Figura 1. 8.

## Potencia

Es la velocidad con que se realiza un trabajo y, utilizando la energía eléctrica, será el producto de  $V \cdot I$ . En este caso se emplea para medir la velocidad con que se produce la transformación de una energía en otra. Por ejemplo: la conversión de electricidad en calor. Su unidad es el *vatio*, expresado con la (W) (Fig. 1. 9).

De la vida cotidiana podemos escoger multitud de ejemplos que nos aclaran el concepto de potencia, pues es importante tener claro a qué nos referimos cuando somos capaces de

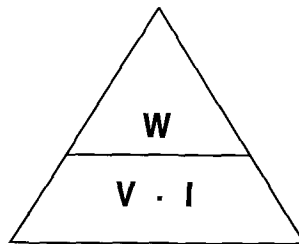


Figura 1. 9.

aseverar, en la figura I. 10, que la excavadora de la derecha es más potente que la de su izquierda, aunque no se haya demostrado o las veamos paradas, ya que, como se dice arriba, *potencia es la capacidad de llevar a cabo un trabajo*, no de haberlo realizado.

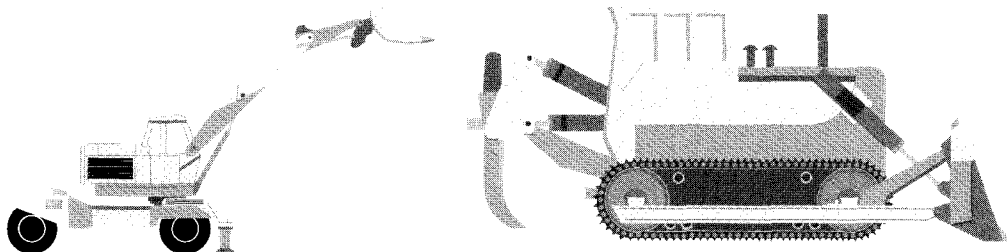


Figura I. 10.

En general, el aspecto de la herramienta nos indica su *potencia*.

Cuando a un paciente le aplicamos calor y manifiesta que siente quemazón o dolor por el calor excesivo, realmente estamos aplicando demasiada potencia.

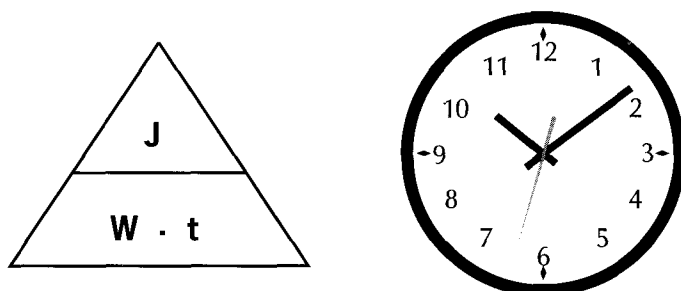


Figura I. 11.

## Trabajo

Si multiplicamos la potencia durante un determinado tiempo (expresado en segundos) obtenemos el trabajo realizado. La unidad del trabajo es el *julio* (J) (Fig. I. 11).

Ante la diferencia conceptual entre *potencia* y *trabajo*, podemos decir que se trata de lo siguiente: mientras que en la potencia se aprecia la capacidad o «potencial acumulado» de realización de o para poder realizar un trabajo, en el trabajo se mide realmente lo conseguido y sus parámetros una vez realizado, entrando a formar parte como parámetro fundamental *el tiempo*. Luego la potencia es el trabajo realizado únicamente en 1 segundo.

Si colocamos en dos habitaciones de idénticas características sendas estufas, de manera que una sea de 500 W y la otra de 3.000 W, ¿qué habitación estará más caliente al pasar media hora?

La simple experiencia nos dice que, lógicamente, donde la estufa es más potente — incluso estando desconectadas de la red eléctrica y antes de comenzar a contar la media hora — la

estufa de 3.000 W va a conseguir antes el calentamiento, porque, si conocemos que va a consumir más energía en intensidad (I) y tiene menor resistencia (R), podremos afirmar de antemano y a ciencia cierta que esta estufa (la más potente) realizará antes su cometido. En definitiva: *sabemos calcular anticipadamente su potencial acumulado*.

Una vez pasada la media hora, comprobamos que se ha producido mayor cantidad de energía calórica procedente de la transformación de la energía eléctrica, pudiendo asegurar y mensurar la capacidad de trabajo de una estufa sobre la otra contando con los parámetros eléctricos y el adecuado manejo de la ley de Joule (Fig. I. 11).

El parámetro *tiempo transcurrido* es fundamental para la obtención del trabajo. En la figura I. 12 vemos un corredor que viene desde lejos hasta alcanzar la meta. Para conseguirlo tuvo que aplicar una fuerza durante un tiempo. En electricidad es bueno desconectarse de la consabida definición que reza: «Potencia es igual a trabajo partido el tiempo».

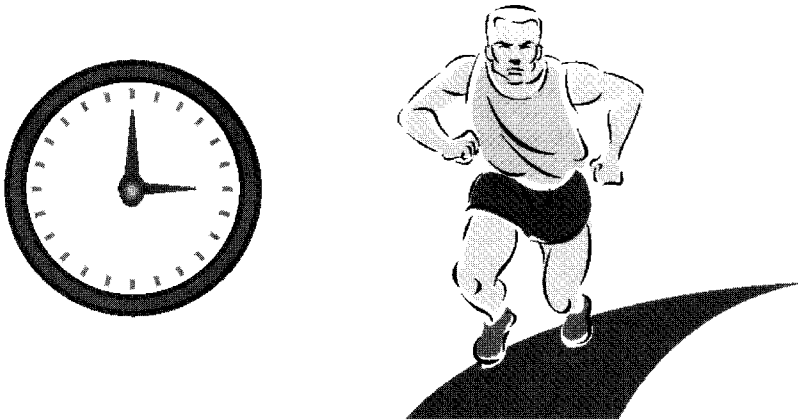


Figura I. 12.

Siempre que apliquemos energía eléctrica destinada a conseguir un trabajo mediante la transformación de la energía en otra nueva o distinta, *la energía aplicada será medida en vatios (W)*. Cuando únicamente queremos saber la cantidad de energía eléctrica que circula por un conductor o por la materia orgánica tratada, las mediciones se harán teniendo en cuenta *el voltaje (V), la resistencia (R) y la intensidad (I)*.

Supongamos que no conocemos el voltaje (V) y deseamos obtener el trabajo realizado, para llegar a la potencia (W), utilizando adecuadamente la ley de Ohm de la figura I. 8, sustituiremos (V) por  $(I \cdot R)$ , siendo  $W = (I \cdot R) \cdot I$  y, por consiguiente, el trabajo en  $(J) = I^2 \cdot R \cdot t$  (Fig. I. 13).

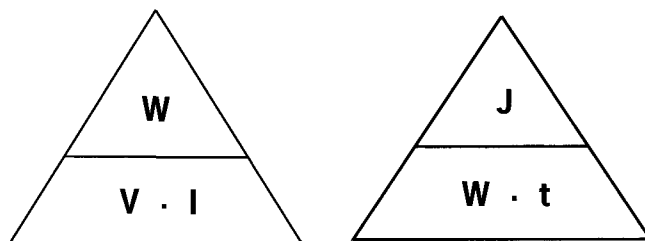


Figura I. 13.

## Calor

El paso de una corriente eléctrica a partir de determinada intensidad, y si a su vez el conductor presenta bastante resistencia, genera calor en la materia que la conduce por transformación de energía.

El trabajo realizado en los tejidos vivos se expresa según la fórmula de Joule, fundamental en *electroterapia*:

$$C = k \cdot R \cdot I^2 \cdot t$$

Al observar la fórmula, vemos que las posibles calorías a conseguir dependen de unos factores que se multiplican todos entre sí, siendo (k) 0,24 o constante de conversión de julios a calorías, (R) la resistencia del conductor, ( $I^2$ ) la intensidad al cuadrado y (t) el tiempo en (sg) que se está produciendo la transformación de energía en calorías.

## Calor y temperatura

Calor es la cantidad de energía térmica generada por la agitación molecular de la materia o provocada por el movimiento de cargas eléctricas a través de ella, de la materia. Se mide en calorías (C).

Temperatura es la concentración o densidad de calorías en un volumen dado. Se mide en grados ( $^{\circ}\text{C}$ ,  $^{\circ}\text{K}$  o  $^{\circ}\text{F}$ ).

El siguiente ejemplo puede dejar claros ambos conceptos (Fig. I. 14).

Se llenan a la par dos tazas con café procedente de la misma cafetera, pero una bastante más grande que la otra, y nos preguntaremos...

¿Cuál será la temperatura en ambas? La misma.

¿Qué taza necesitará más calorías para elevar un grado de temperatura el líquido que contienen? Lógicamente, la grande.

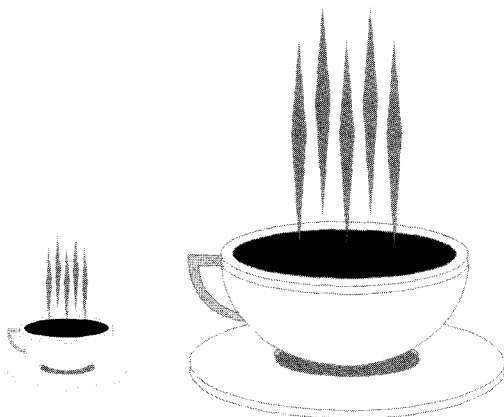


Figura I. 14.

El calor es energía; la temperatura no es energía: solamente es la expresión de la densidad de calorías en una porción de materia.

## Velocidad de transmisión energética

De los epígrafes anteriores, referidos a *potencia y trabajo*, deducimos que, al aplicar una energía, podemos hacerlo de forma muy acelerada o lentamente. La rapidez en la aplicación de una energía depende fundamentalmente de la potencia y de la capacidad de los tejidos para asimilarla.

No tiene nada que ver el láser quirúrgico, donde a velocidad de inyección energética es tan alta, que volatiliza los tejidos. Pero la misma energía podemos aplicarla de forma lenta, para que los tejidos la vayan asimilando lentamente.

¿Por qué nos quemamos si sumergimos la mano en agua caliente a 60 °C? Sin embargo, al introducirla en un horno de Bier a 110 °C, se tolera perfectamente. El contacto directo entre la piel y el agua permite un trasvase rápido de energía, pudiendo lesionar los tejidos. El trasvase energético entre aire y piel es más lento, permitiendo que los tejidos lo toleren y se readapten. La capacidad de transmisión de calor entre el agua y piel es 20 veces superior que entre aire y piel.

Dado que en fisioterapia los objetivos pretendidos se basan en conseguir reactivar situaciones metabólicas deficientes, nunca aplicaremos la energía de forma muy acelerada, pero, si lo hacemos lo suficientemente rápido como para elevar la temperatura local 2 ó 3 °C, desencadenaremos en el sistema nervioso neurovegetativo una termorregulación eficaz. En los procesos agudos, normalmente la táctica terapéutica se base en disminuir la energía mediante aplicación de frío; y en los subagudos, la aplicación energética será poca y lenta.

## Dosis o densidad de energía

En electroterapia aplicamos, en multitud de técnicas, diversas energías en superficies corporales más o menos grandes, con electrodos de distintos tamaños y con mayor o menor duración de la sesión.

Por ejemplo: si pretendemos hacer pasar una corriente de 10 mA por un electrodo de 100 cm<sup>2</sup> o por otro de 5 cm<sup>2</sup> en un tiempo dado, corremos el riesgo de agredir más la piel con el pequeño, mientras que el electrodo grande no llega a hacer sentir sus efectos en la zona aplicada.

Si queremos obtener siempre los mismos efectos, independientemente del tamaño de los electrodos, debemos elegir valores de referencia para intensidad y superficie, cuya unidad medida unificada nos servirá como *dosis* para cualquier aplicación, expresada en (mA/cm<sup>2</sup>) (W/cm<sup>2</sup>) o (J/cm<sup>2</sup>) (Fig. 1. 15).

Ello nos obliga a considerar la *dosis* como la energía recibida, expresada en (J/cm<sup>2</sup>), que no en la energía aplicada. En muchas de nuestras técnicas, no estamos trabajando con la suficiente precisión y convivimos con errores importantes de dosificación.



Pongamos una especial atención en las fórmulas de la figura I. 15, donde en primer lugar vemos que el trabajo total (J) es igual a la potencia (W) por el tiempo en segundos (t). En la segunda parte volvemos a observar la misma fórmula, pero contemplando la dosis (J en cada  $\text{cm}^2$ ) y la superficie corporal tratada (S en  $\text{cm}^2$ ), que también es igual a potencia por tiempo. Este concepto va a ser fundamental para la dosificación en muchas de nuestras técnicas. La potencia influye en la rapidez de trasmisión energética y esta condición influye también en la dosis.

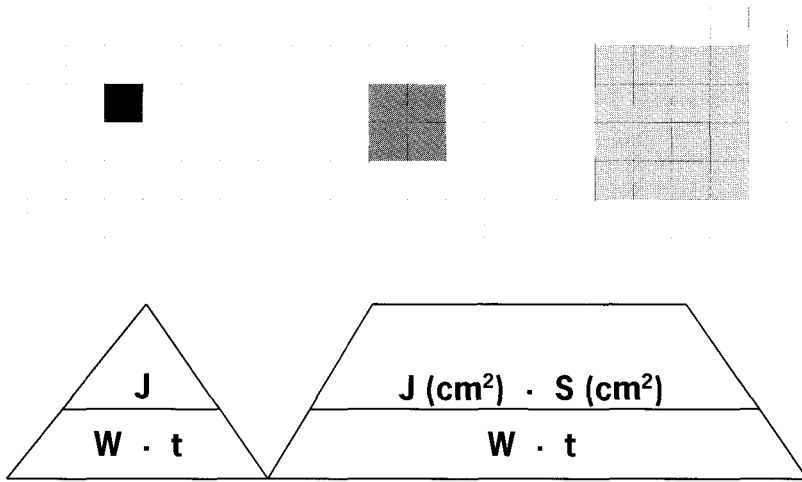


Figura I. 15.

## Electromagnetismo

Es la propiedad que presenta la energía eléctrica para generar un *campo magnético* alrededor del conductor por el que pasa una corriente eléctrica. O también, de *generar una corriente de electrones* sobre el conductor que es sometido a un campo magnético (según la ley de la mano izquierda, que en su momento se verá). Su unidad es el henrio (H). Si el conductor se encuentra arrollado sobre sí mismo en forma de *bobina*, se multiplica este efecto, utilizándose así en la práctica habitual (Fig. I. 16).

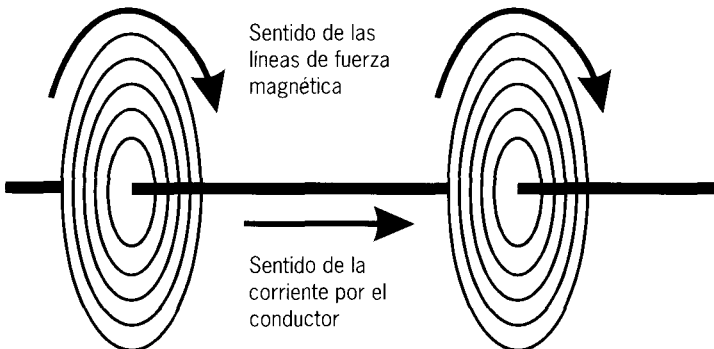


Figura I. 16.

## Inductancia (auto-inducción)

Es la resistencia que opone la materia conductora a ser *sometida al paso o cambio y variaciones en la corriente* (intensidad) que circula por ella; o, también, *al corte de la corriente que circulaba por ella*. En este instante se generan cargas eléctricas muy intensas y de signo opuesto al que se estaba dando. Es el típico chispazo que suele producirse al pulsar un interruptor o desenchufar una plancha que está trabajando.

## Capacitancia (campo de condensador)

Es la propiedad que tienen las cargas eléctricas de:

- *atraerse si son de signo opuesto* o de
- *repelerse si son del mismo signo*.

Esto es: una carga eléctrica genera otra en su proximidad de signo contrario, encontrándose ambas sin contacto físico o intercalando materia no conductora entre las dos cargas (Fig. I. 17).

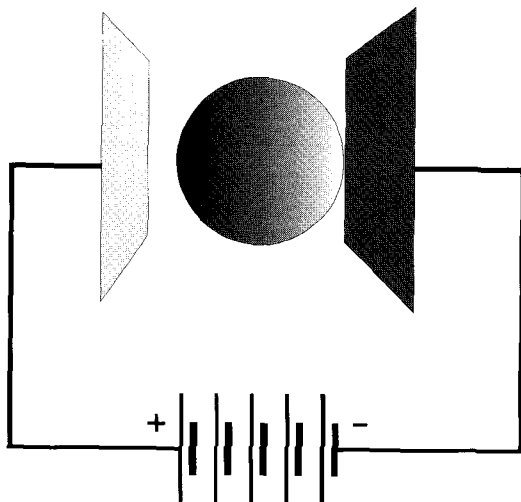


Figura I. 17.

Este fenómeno en electroterapia va a ser muy importante, ya que en él se fundamentarán muchos mecanismos de actuación sobre el organismo, tales como:

- el campo de condensador de la onda corta,
- la respuesta motora anódica,
- la electroforesis,
- la penetración por irradiación en microonda.

Al igual que la inductancia, y debido a la propiedad de *crear cargas eléctricas opuestas a la aplicada*, en la capacitancia se va a producir un freno o resistencia a:

- 1) la invasión de electrones cuando se aplica un electrodo,
- 2) cuando se cierra o abre el circuito y
- 3) cuando sufre variaciones el voltaje, llegando a perderse parte de la fuerza electromotriz aplicada.

## Efecto anódico

El llamado efecto anódico consiste en lo siguiente: al aplicar un impulso eléctrico al organismo con un electrodo, dentro de la materia orgánica e inmediatamente próximo al electrodo, se crea una carga eléctrica de signo opuesto que dará lugar a una diferencia de potencial entre la electricidad aplicada y las cargas eléctricas del organismo (Fig. I. 18).

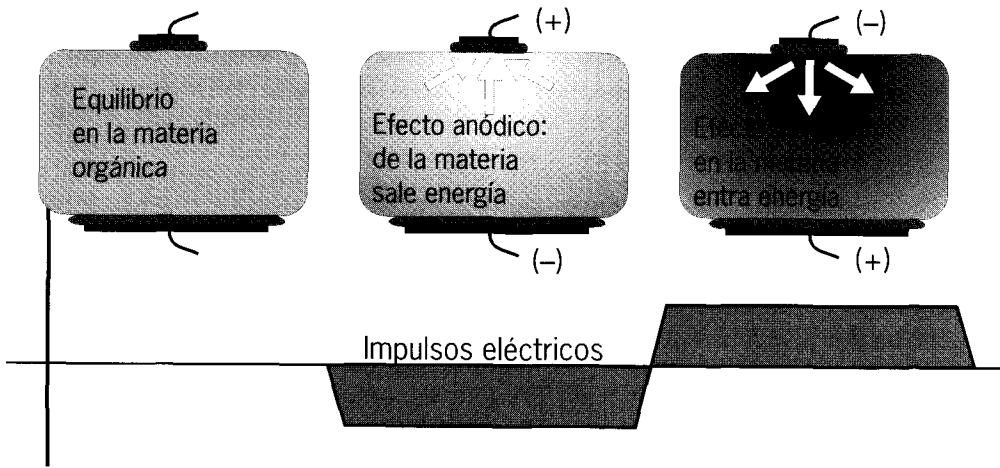


Figura I. 18.

Esta diferencia de potencial entre el exterior y el interior de la piel es la que conduce al paso de electrones desde el electrodo a los tejidos (siempre que el electrodo sea de carga (-)); mientras que, si el electrodo es de carga (+), el paso de electrones se hará desde el organismo hacia el electrodo.

Podemos hacer un símil diciendo que los electrones, cuando se acercan a una barrera o membrana que tienen que superar, se facilitan el salto o paso limpiando rápidamente de electrones el otro lado de la membrana, creándose asimismo un vacío, o carga (+), que les ayudará a superar el salto de la piel (ver *capacitancia* y Fig. I. 17). La aplicación del impulso, la respuesta anódica y el paso del impulso requieren un determinado tiempo para completarse; y, por otra parte,

- la respuesta anódica no va a tener la misma forma, amplitud e intensidad que el impulso catódico;
- ni la forma del impulso anódico va a ser la misma que originalmente se aplicó en el electrodo.

## Impedancia

Es la referencia a un conjunto de cualidades que presenta la materia cuando es sometida a la energía eléctrica, fundamentalmente si las corrientes presentan variaciones de polaridad, de intensidad o de voltaje.

Resulta un concepto de complicada asimilación, pero nos quedaremos con las ideas básicas siguientes: es la suma vectorial de las tres formas de resistencia que presenta la materia.

- 1) Resistencia óhmica (R): a la intensidad y al voltaje (tanto en corriente continua como en variable); freno al paso de energía; provoca caída en la tensión y disminuye el paso de intensidad.
- 2) Resistencia inductiva (I): resiste el cambio de intensidad cuando la corriente es variable (solamente variable); característica propia de las bobinas; luego, trataríamos de reflejar el grado de comportamiento de la materia en cuestión, asemejándose a una bobina, retrasando la onda de intensidad.
- 3) Resistencia capacitativa (C): resiste el cambio del voltaje o fuerza electromotriz (solamente variable); característica propia de los condensadores; se reflejaría el comportamiento como condensador de la sustancia en prueba, retrasando la onda de voltaje.

Esto significa que...

- Si la materia no presenta ningún componente de resistencia inductiva ni capacitativa, el rendimiento y la transformación en potencia es del 100%;
- Si la materia ofrece resistencia capacitativa muy alta (o inductiva), tanto que se retrasen  $90^\circ$  una onda con respecto a la otra, el rendimiento en potencia será de cero (Fig. I. 19):

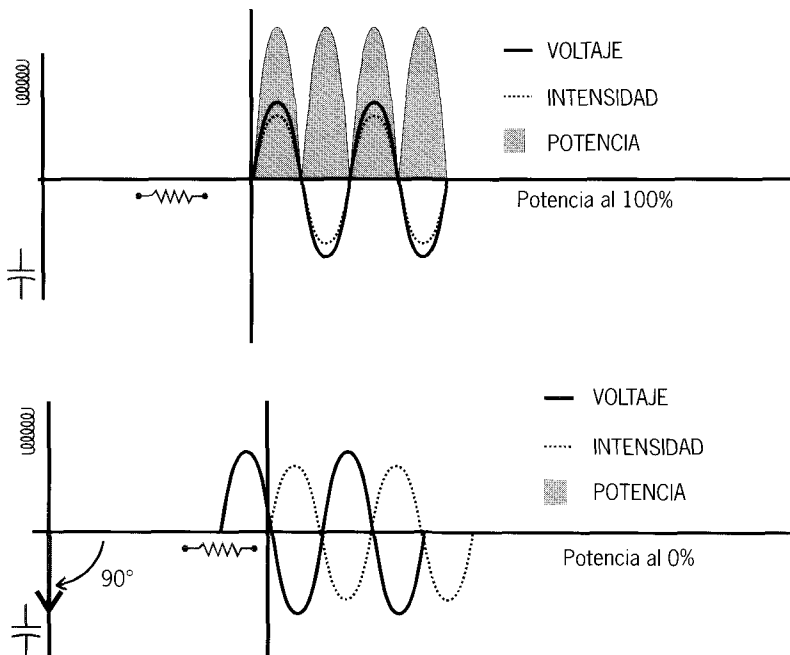


Figura I. 19.

- si retrasamos la onda de intensidad  $45^\circ$ , el rendimiento es del 50% (Fig. I. 20):

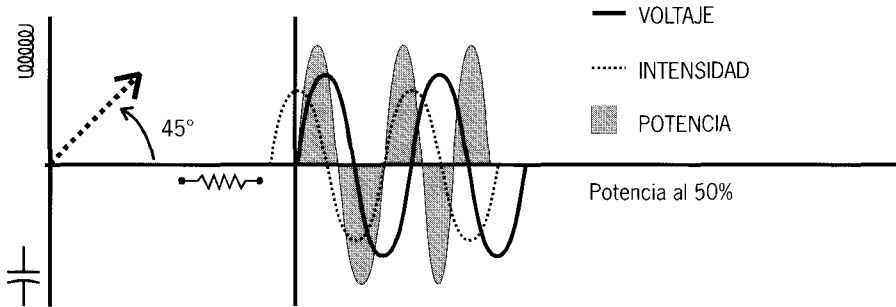


Figura I. 20.

- la presencia de resistencia inductiva en grado tal que provoque el retraso del voltaje en  $45^\circ$ , también reduce al 50% su rendimiento en potencia (Fig. I. 21):

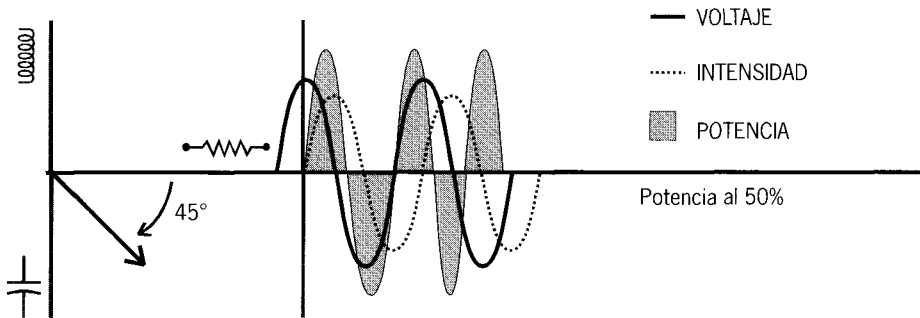


Figura I. 21.

En ambos casos, las ondas de intensidad o voltaje se desfasan una de la otra, pero no pierden su valor absoluto, tanto en amperios como en voltios, mientras que:

- la resistencia óhmica no desfasa las ondas, pero sí las hace caer en sus valores correspondientes;
- para el cálculo de la impedancia final, se vuelven a trazar de nuevo paralelogramos a las impedancias previamente calculadas (Fig. I. 22):

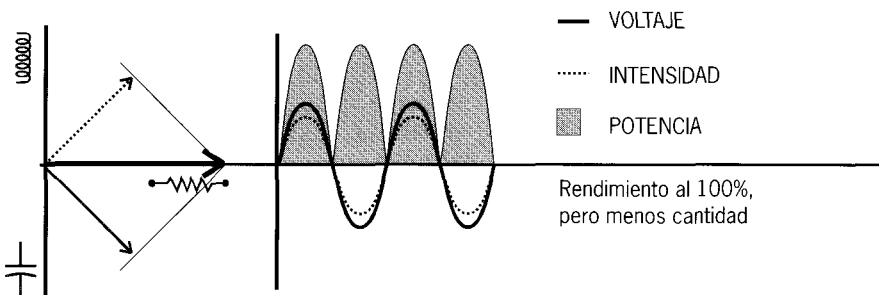


Figura I. 22.

- la suma vectorial de los distintos segmentos recibirá el calificativo de impedancia final, representada con el símbolo ( $Z$ ), y en este caso coincide con la horizontal y se trasforma en óhmica, pero puede desplazarse hacia el sector de la inductiva o al de la capacitativa.

Todo esto es importante, ya que influirá directamente en la potencia que realmente se está aplicando, por la simple razón de que:

$$\text{Potencia} = \text{Voltaje} \cdot \text{Intensidad}$$

Es necesario conocer el comportamiento de los tejidos humanos en lo referente a su impedancia ante las distintas formas de ondas y sus frecuencias, ya que de ello dependerán los mejores o insuficientes resultados de unas u otras técnicas.

Dado que la electroterapia de baja frecuencia normalmente se aplica con electrodos sobre la piel, cuando hablemos de su impedancia, lo haremos refiriéndonos a ( $Z$ ) en ohmios por cada  $\text{cm}^2$  de piel.

## Conductividad

Es la *facilidad* que presenta la materia al circular por ella corrientes de electrones. Lo contrario de la resistencia o resistividad. Se mide en  $\text{oh}/\text{m}$  (ohmios por metro lineal o metro cuadrado).

## Resistividad

Es la *dificultad* que presenta la materia a que circulen por ella corrientes de electrones o cargas eléctricas. Lo contrario de la conductividad. Se mide en  $\text{moh}/\text{m}$  (megohmios por metro lineal o metro cuadrado).

Unas sustancias van a disfrutar preferentemente de una de las dos propiedades (conductoras o resistentes) y otras muchas estarán en un intermedio entre los extremos. Esto nos lleva a hacer la siguiente clasificación de las materias en:

- Conductores de primer orden.

Con una excelente conductividad eléctrica, y admiten mucha intensidad sin generar calor ni producir alteraciones físicas o químicas sobre la sustancia.

- Conductores de segundo orden.

O semiconductores: están a caballo de los dos extremos. Estas sustancias no admiten demasiada intensidad eléctrica, pero, en caso de obligar el paso de corriente, suelen presentar manifestaciones de cambios físicos o químicos, dado que los iones serán los transportadores de energía.

— Dieléctricos.

No conductores, los cuales disfrutan plenamente de las propiedades de la resistividad y dificultan el paso de electrones.

Entre los *conductores de segundo orden* es entre los que más nos vamos a mover. Razón por la cual es importante conocer los grados de resistividad, de conductividad o de impedancia que presentan los distintos tejidos del organismo a las variadas formas de las corrientes que aplicamos, sobre todo por tener influencia directa en la cantidad de energía que inyectamos al organismo. Es decir:

**si aplicamos una determinada diferencia de potencial como fija e invariable, los tejidos absorberán la intensidad que permita su resistencia. Pero, si es la intensidad el parámetro que aplicamos como fijo e invariable, será el voltaje el que se adapte a la resistencia de los tejidos.**

Por lo expresado en el párrafo anterior, se deduce que no es lo mismo 12 mA con 5 V que 12 mA con 180 V. Circunstancia que se puede dar perfectamente dependiendo de la resistencia de la materia sometida al paso de energía eléctrica.

### Intensidad constante

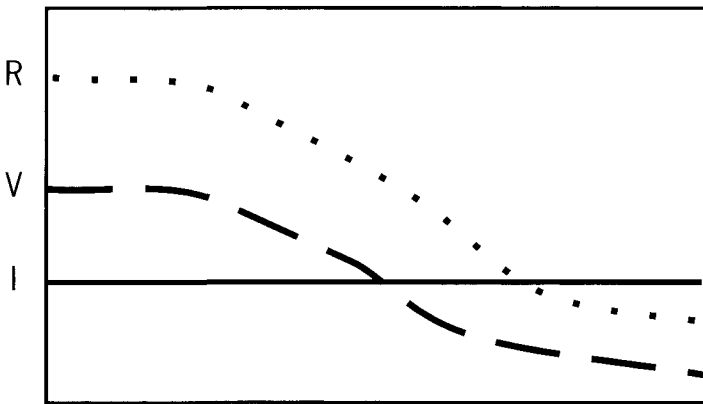


Figura I. 23.

Cuando la intensidad es el parámetro que se mantiene inalterable aunque cambie la resistencia, nos hallamos ante una aplicación en intensidad constante (CC), siendo el voltaje el que se adaptará al circuito según lo establecido en la ley de Ohm:

$$V = I \cdot R$$

de forma que, al *disminuir* (R), decrece (V); al *aumentar* (R), aumenta (V).

Si aplicamos una intensidad fija de 50 mA y hacemos cambios en la resistencia, el voltaje sufre variaciones en el mismo sentido que la resistencia (Fig. I. 23).

## Tensión constante

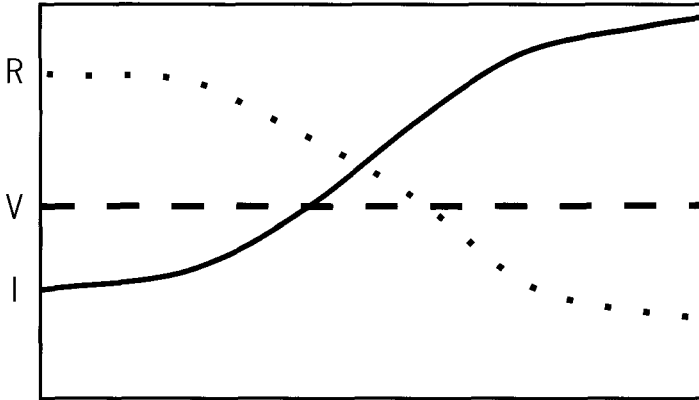


Figura I. 24.

Cuando el voltaje es el parámetro que se mantiene inalterable aunque cambie la resistencia, nos hallamos ante una aplicación en tensión constante (VC), siendo la intensidad la que se adaptará al circuito según lo establecido en la ley de Ohm:

$$I = V/R$$

de forma que, al *disminuir* (R), aumenta (I); al *aumentar* (R), decrece (I).

Si aplicamos un voltaje fijo de 50 voltios y cambiamos la resistencia, los mA sufren cambios en sentido inverso a la resistencia (Fig. I. 24).

## Resistencia de los electrodos

Los electrodos usados en electroterapia de baja y media frecuencia manifiestan una determinada resistencia que depende:

- de la materia que los componga;
- del grado de humedad;
- de la presión ejercida sobre la piel;
- y del tamaño del electrodo.

La resistencia y el tamaño del electrodo se relacionan de modo inverso, es decir:

- a *menor* tamaño, *mayor* resistencia;
- a *mayor* tamaño, *menor* resistencia.

Esta variante influye directamente en la dosis expresada en (mA/cm<sup>2</sup>), convirtiéndose en otra razón más por la que debemos controlar simultáneamente la intensidad y el voltaje, a fin de sustituir la expresión (mA/cm<sup>2</sup>) por la de (W/cm<sup>2</sup>) o (J/cm<sup>2</sup>), mucho más precisas para evitar los temidos riesgos de quemadura.



Como más adelante veremos, tendremos que utilizar y hablar de corrientes de determinadas frecuencias, de longitudes de onda y períodos. Por todo ello, necesitaremos entender y manejar los siguientes conceptos...

## Ciclo

Un ciclo es la *cadencia* completa de una onda, con pausas o sin ellas, desde el momento que se inicia hasta que comienza la siguiente (únicamente se considera la forma o apreciación visual) (Fig. I. 25).

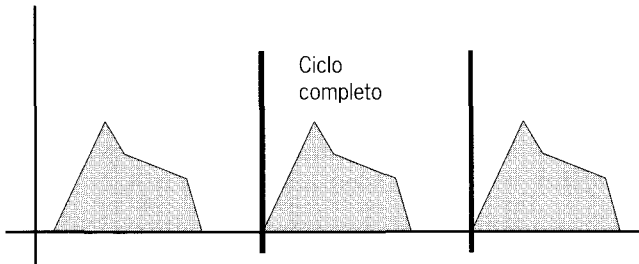


Figura I. 25.

## Período

Es el *tiempo* que dura una cadencia o ciclo completo (Fig. I. 26).

## Frecuencia

En caso de que la corriente eléctrica sea de forma variante y las variaciones lo sean relativas al número de repeticiones con una cierta regularidad en cada unidad de tiempo (el segundo), nos hallaremos ante la *frecuencia*: número de veces que se repite una cadencia en 1 sg, es decir, en hercios (Fig. I. 26).

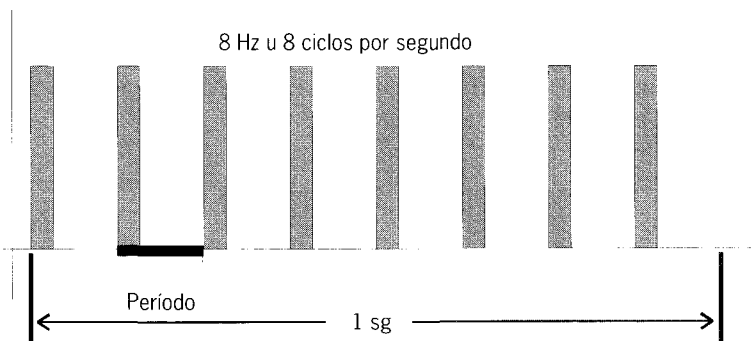


Figura I. 26.

Con estos tres factores (unidad de tiempo, frecuencia y período), ya podemos calcular cualquiera de ellos cuando sea expuesto como incógnita en el siguiente planteamiento.

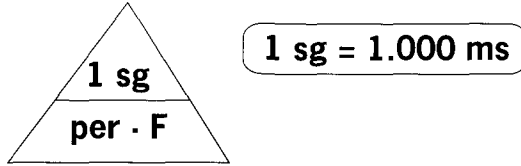


Figura I. 27.

Esta fórmula (Fig. I. 27) se empleará para trabajar con baja frecuencia fundamentalmente, aunque puede utilizarse también en alta. Siempre con la precaución de trabajar con los tiempos en la unidad adecuada; o sea: no se puede dividir *segundos entre milisegundos* (a no ser que luego se corrija).

Veamos algunos ejemplos:

- 1) Queremos aplicar una corriente analgésica formada por impulsos cuadrangulares de 2 ms a una frecuencia de 33 Hz. ¿Cuál será el período?

$$\text{per.} = \frac{1 \text{ sg}}{F} = \frac{1}{33} = 0,030 \text{ sg} = 30 \text{ ms}$$

El período resultará de 30 ms, pero, dado que 2 ms son para el impulso, 28 restarán para el reposo (Fig. I. 28).

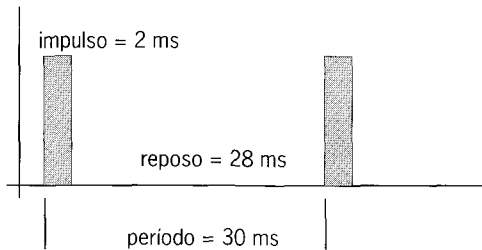


Figura I. 28.

- 2) Sabemos que la corriente de Trabert está formada por impulsos de 2 ms y reposos de 5 ms ¿Cuál es su frecuencia? (Fig. I. 29).

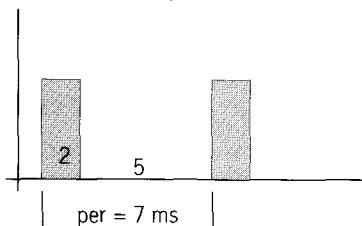


Figura I. 29.

$$F = \frac{1 \text{ sg}}{\text{per.}} = \frac{1}{2 + 5} = (\text{todo en ms}) \frac{1.000}{7} = 142,8 \text{ Hz}$$

- 3) En una situación determinada, decidimos la aplicación de trenes de farábricas con impulsos de 1 ms y los reposos correspondientes para obtener 65 Hz. ¿Cuál será el reposo adecuado?

Tendremos que saber el período de cada ciclo y restarle el tiempo del impulso para que nos quede solamente el reposo. Entonces:

$$\text{per.} = \frac{1 \text{ sg}}{F} = \frac{1}{65} = 0,015 \text{ sg de período}$$

$$t.\text{per.} - t.\text{imp.} = t.\text{rep.} = 0,015 - 0,001 = 0,014 \text{ sg} = 14 \text{ ms}$$

Luego 14 ms serán los necesarios para formar un tren de farábricas con un tiempo de impulso de 1 ms y una frecuencia de 65 Hz.

## Longitud de onda

Dado que el concepto de *longitud de onda* es de difícil intelección o, quizá, de más difícil explicación (derivada de «espacio es igual a velocidad por tiempo»), nos quedaremos con la siguiente definición: es el cociente de dividir la velocidad de la «luz» entre la frecuencia. Tomamos la velocidad de la luz como indicativo de la velocidad de propagación en el vacío de las ondas electromagnéticas.

La localización gráfica sobre la representación de una onda va a coincidir con el período, pero, mientras éste se valora en tiempo, la longitud de onda lo será en metros por segundo: luego su unidad es *velocidad* (Fig. I. 30).

Ésta es la fórmula:

$$\text{Velocidad de propagación} = \text{Longitud de onda} \cdot \text{Frecuencia}$$

La velocidad de la luz y la longitud de onda se expresan en metros.

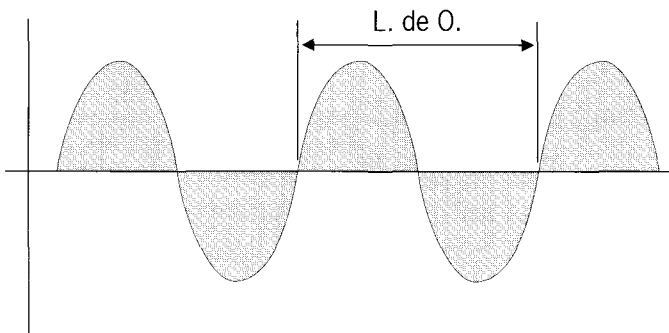


Figura I. 30.

Tendremos la precaución de operar de manera que las conversiones entre parámetros de (V. de Pr.) o (L. de O.) se hallen en el mismo nivel de unidad.

Esta formulación (Fig. I. 31) se va a emplear fundamentalmente para calcular los parámetros de las altas frecuencias, aunque también se puede aplicar con las bajas. En general, diremos que es la fórmula característica cuando se opera con el espectro electromagnético y formas de onda alternas regulares en cuanto a su forma y repetición.

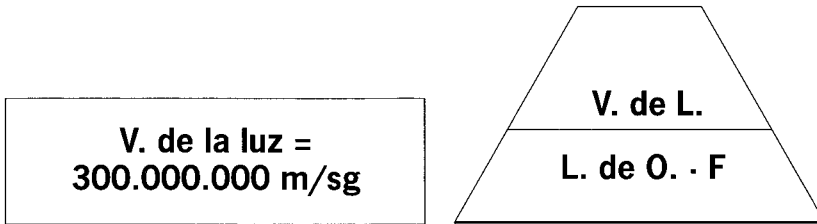


Figura I. 31.

Siempre que necesitemos saber la relación existente entre impulso y reposo (cuando éstos no sean iguales), acudiremos a la fórmula del período aunque se trate de alta frecuencia. Estas circunstancias se darán cuando trabajemos con *alta frecuencia* pulsátil, con el *láser* pulsante o con *ultrasonidos* pulsante.

Veamos algunos ejemplos:

- 1) Cuando aplicamos termoterapia de 11 metros, ¿qué frecuencia estamos usando?

$$F = \frac{\text{V. de la L. (en m/sg)}}{\text{L. de O. (en m)}} = \frac{300.000.000}{11} = 27.272.727 \text{ Hz} = 27,2 \text{ Mhz}$$

- 2) ¿Estamos hablando del mismo tipo de termoterapia al decir que 2.450 Mhz es lo mismo que 69 cm de L. de O.?

Como disponemos de frecuencia y longitud de onda, la única operación lógica que podemos hacer entre ambas es multiplicarlas entre sí para obtener la velocidad de propagación. Si el producto no es igual o muy próximo a dicha constante (por errores decimales), evidentemente no hablamos de la misma corriente:

$$\begin{aligned} \text{V. de la L.} &= 2.450 \text{ Mhz} \cdot 69 \text{ cm} = (\text{hagamos la conversión}) \\ &= 2.450.000.000 \cdot 0,69 = 1.690.500.000 \text{ m/sg} \end{aligned}$$

Velocidad que no tiene nada que ver con los 300.000.000 de metros por segundo de la luz. Luego, según el resultado obtenido, no hablamos de la misma corriente.

- 3) ¿Cuáles serán los otros dos parámetros que corresponden, respectivamente, a los datos referidos en el caso anterior?:

- 2.450 Mhz (para hallar su L. de O. correspondiente).

$$L. \text{ de O.} = \frac{V. \text{ de la L. (en m/sg)}}{F \text{ (en Hz)}} = \frac{300.000.000}{2.450.000.000} = 0,122 \text{ m} = 12 \text{ cm}$$

- 69 cm (para hallar su F correspondiente).

$$F = \frac{V. \text{ de la L. (en m/sg)}}{L. \text{ de O. (en m)}} = \frac{300.000.000}{0,69} = 434.780.000 \text{ Hz} = 434,7 \text{ Mhz}$$

### Efecto batido o de interferencia

Cuando dos o más frecuencias se cruzan o entremezclan en un punto de la materia, dan como resultado otra frecuencia que va a ser la diferencia entre las mezcladas. Veamos...

Si aplicamos 4.000 Hz por un circuito y 4.100 de otro, conseguiremos una nueva de:

$$4.100 - 4.000 = 100 \text{ Hz resultantes}$$

Este fenómeno es debido al desfase entre las crestas de las ondas, de manera tal que, si coinciden en el mismo instante dos crestas positivas, se producirá un efecto sumativo (Fig. I. 32); si coinciden en el mismo instante una cresta positiva con otra negativa, se producirá una anulación mutua, apareciendo la ondulación diferencia entre ambas y, por consiguiente, menor frecuencia (Fig. I. 32).

Los dos casos anteriores se darían ante coincidencia del 100% en la anchura de sus ondas; pero, en la realidad, la interferencia se realiza en unos porcentajes de desfase, influyendo, en esos mismos porcentajes, a las ondas resultantes tanto para las crestas positivas como para las crestas negativas (Fig. I. 33).

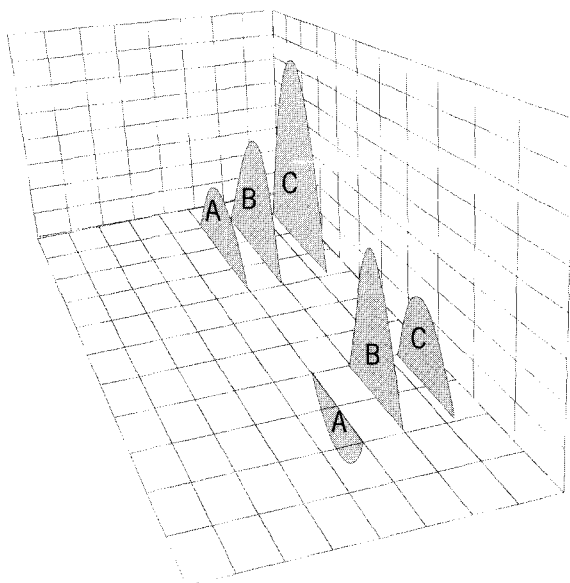


Figura I. 32.

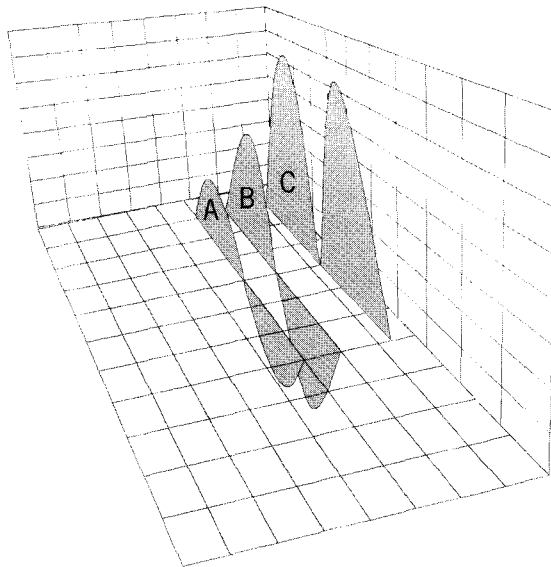


Figura I. 33.

La onda correspondiente a la frecuencia de *batido* será de distinta forma de la de las ondas aplicadas, conforme a que: si las originales tienen crestas positivas y negativas alternándose, la resultante va a ser una cresta, prácticamente, positiva y negativa a la vez, en el mismo instante, con la apariencia de aumentar y disminuir, al mismo tiempo, por ambos lados de la línea de cero; es decir: *en amplitud de modulación* (Fig. I. 34).

Estas modulaciones en amplitud pueden conseguirse electrónicamente mediante diversos métodos: la mezcla o interferencia de dos circuitos es únicamente uno de ellos. Los modernos equipos de electroterapia usan más otros sistemas de modular una frecuencia, sin descartar el de batido.

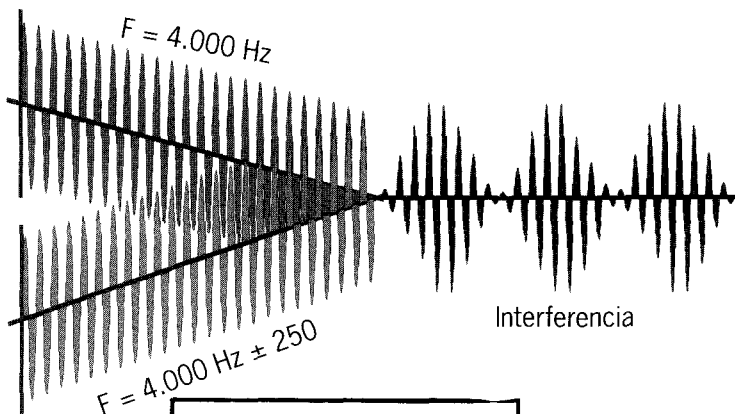


Figura I. 34.

Universidad Católica del Maule  
Biblioteca Campus San Miguel

## Efecto Joule

Cuando una energía circula a través de la materia, y dependiendo de la resistencia que oponga ésta a que por ella circule la energía, las moléculas que componen dicha materia se ven sometidas a agitación y roces, produciendo una nueva energía, generada por la aplicada, que será *transformada* en otra nueva y distinta (normalmente calor) (Fig. I. 5).

Este fenómeno lo vamos a utilizar los fisioterapeutas en aplicaciones de alta frecuencia para generar calor dentro de los tejidos orgánicos, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$C = k \cdot R \cdot I^2 \cdot t \quad \text{equivalente a} \quad J = (W \cdot t) \cdot k$$

siendo:

C = calorías generadas

k = 0,24 (constante de conversión de julios a calorías)

R = resistencia de la materia

$I^2$  = intensidad al cuadrado

t = tiempo en segundos

J = julios

W = potencia aplicada

## Movimiento Browniano

Cuando hablamos de movimiento de cargas eléctricas dentro del organismo (y dado que el organismo realmente es una disolución), no vamos a mover electrones, pero sí moveremos los electrolitos disueltos en el agua de los tejidos.

Los iones y moléculas constantemente se mueven dentro de la materia, unos con relación a otros, para dar lugar a nuevas moléculas y disociar otras, de manera que dicho movimiento o agitación generará o irradiará ondas electromagnéticas en forma de calor (Fig. I. 35).

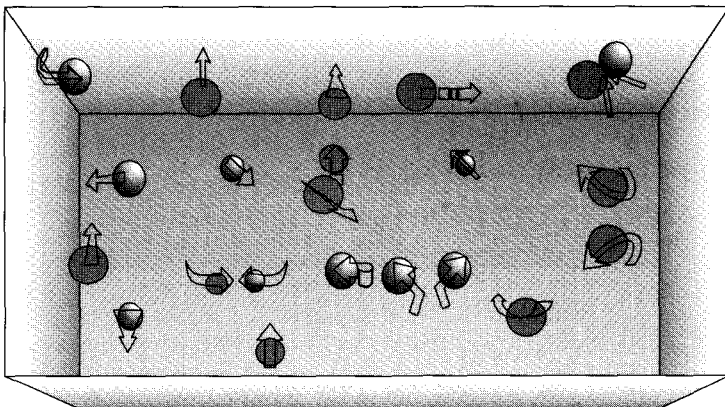


Figura I. 35.

Cuanto más agitemos las moléculas por aporte de nuevas energías, más energía térmica generaremos, pudiendo calcular las calorías generadas expresadas en julios  $\cdot 0,24$ .

La energía aplicada podemos expresarla en vatios (W); y los julios serán obtenidos después de haber transcurrido un tiempo en segundos.

Sin movimiento Browniano la materia se hallaría en el cero absoluto.

Podemos imaginar una mesa de billar con bastantes bolas y todas en movimiento aleatorio, con sus choques entre sí, choques con las bandas y constantes cambios de sentido. Cuanto mayor sea la fuerza que se aplique a las bolas, mayores serán las posibilidades de contactos y generación de nuevas energías.

## Agitación molecular

La materia presenta sus respuestas específicas ante la energía térmica, por el movimiento Browniano de los iones y por la oscilación propia de cada molécula.

Las moléculas no poseen una forma totalmente estática a semejanza de su representación, sino que, debido a las tensiones eléctricas entre los distintos iones, se hallan en constante vibración en distintos ejes de su forma (Fig. I. 36).

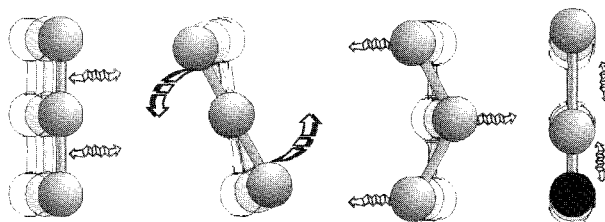


Figura I. 36.

Estas oscilaciones emiten radiaciones electromagnéticas en las bandas de infrarrojos, microondas e incluso en el espectro luminoso. Dichas ondas electromagnéticas también son energía generada en la materia que contribuye a mayores intercambios electroquímicos y aumentos del movimiento Browniano.

## Formas de electricidad

Las formas de manifestarse la energía eléctrica son dos:

- *estática* y
- *dinámica*.

### ELECTRICIDAD ESTÁTICA

En nuestro caso, es la manifestada al producirse cargas eléctricas de un signo o de otro, en un punto o lugar determinado de la materia, sin que haya desplazamiento de electro-



nes. Se produce por reacciones químicas (disoluciones de electrolitos), por rozamiento, por calentamiento, por presiones mecánicas, al tener próximas otras cargas eléctricas y no existe movimiento de electrones entre las dos cargas. Cuando se establece un puente conductor con otra zona de distinto potencial eléctrico o se rompen los equilibrios químicos que mantenían dicha polarización de cargas, para equilibrarse ambas zonas eléctricamente, la electricidad se mueve y se convierte en dinámica.

Pueden existir distintos niveles de carga, pero lo que importa es la razón o diferencia entre dos que se relacionen (Fig. I. 37).

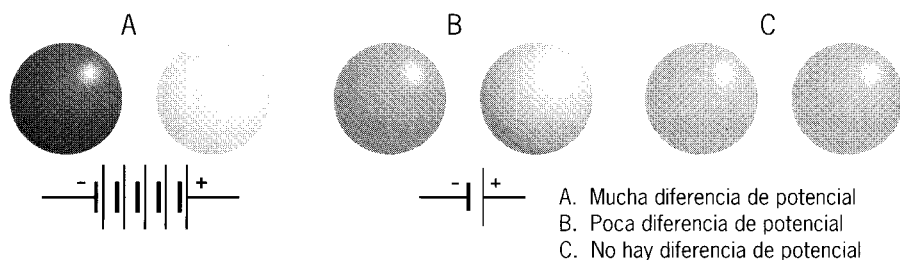


Figura I. 37.

Esta forma de electricidad se aprecia dentro de la materia viva, en las polarizaciones de las células, los equilibrios iónicos en el líquido intersticial, o la polarización eléctrica en el Sistema Nervioso cuando éste se encuentra en reposo. Son ejemplos que nos pueden servir para entender el fenómeno, aunque no debemos confundir movimiento de cargas entre dos masas eléctricas con el movimiento o agitación de cargas dentro de cada masa eléctrica.

## ELECTRICIDAD DINÁMICA

Se objetiva porque en la materia hay movimiento de electrones entre dos cargas eléctricas de (-) a (+) (Fig. I. 38).

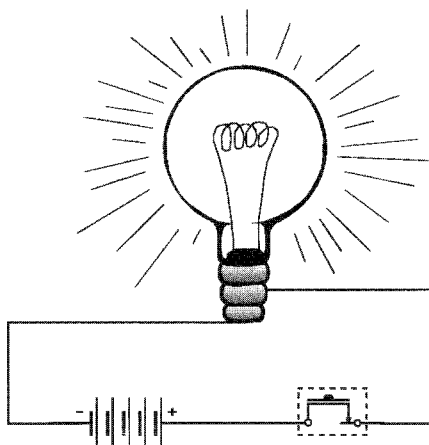


Figura I. 38.

Esto se produce de dos formas:

- 1) Saltando los electrones de átomo en átomo, por sus órbitas más externas, para ocupar el hueco dejado por el electrón anterior que se movió; y así, sucesivamente.
- 2) Provocando que los iones de una disolución, con sus respectivas cargas eléctricas (átomos desequilibrados eléctricamente), se muevan a través de la disolución hasta los puntos de aplicación de la fuerza electromotriz, donde liberarán o captarán electrones para reaccionar químicamente, llegando a producir una corriente de electrones: *electrólisis*.

## Electrólisis y electroforesis

Es el fenómeno por el cual se ponen en movimiento los iones de una disolución al ser sometida al paso de corriente eléctrica de forma continuada, polarizada y sin oscilaciones (corriente continua o *galvanismo*), mediante dos electrodos que son aplicados o introducidos en la disolución en lugares distintos y separados entre sí, recibiendo uno el nombre de *cátodo* y el otro el de *ánodo* (Figs. I. 39 y 40).

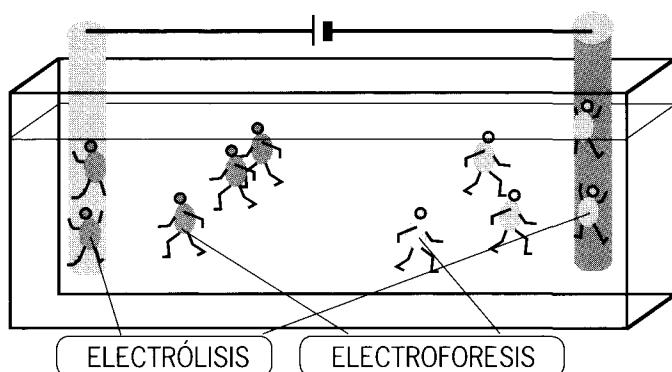


Figura I. 59.

El movimiento que se imprime a los iones es el óptimo, el menos resistente o el de la línea recta entre ambos electrodos. De manera que los iones con carga (-) se dirigen en sentido del *ánodo*, recibiendo éste los electrones que llevan en exceso, circunstancia que da el nombre a los iones que a él llegan: *aniones*.

Asimismo, al electrodo *cátodo* llegan los iones (+) o cationes, del cual toman los electrones que le hacen falta para convertirse en *átomo* neutro o elemento en su estado original.

Tanto los *cationes* (+) como los *aniones* (-), al llegar a su electrodo correspondiente, se ven sometidos a una reacción *electroquímica* por la que cambian sus características físicas y químicas, enseñándonos con esto que es muy distinto el mismo elemento o compuesto en cuanto ion o en cuanto elemento neutro.

*Dentro del organismo vivo, nunca debemos permitir situaciones en las que los elementos o compuestos moleculares que forman las disoluciones orgánicas se encuentren como átomos neutralizados: siempre se mantendrán como iones.*

Al aplicar al organismo galvanización, en los polos se acumulan elementos químicos en elevada concentración, dando lugar a alteraciones de la disolución, que localmente sufrirá concentraciones exageradas de alcalinidad y acidez, en el cátodo y en el ánodo respectivamente. La alcalinidad o la acidez en exceso provocarán quemaduras químicas en la materia orgánica próxima a los electrodos.

Este comportamiento, para nosotros importantísimo, nos lleva a ver que hay *tres* zonas bien delimitadas en las disoluciones sometidas a electrólisis o electroforesis:

- dos zonas próximas a los electrodos o polares y
- una zona intermedia entre ambos electrodos o de interfase.

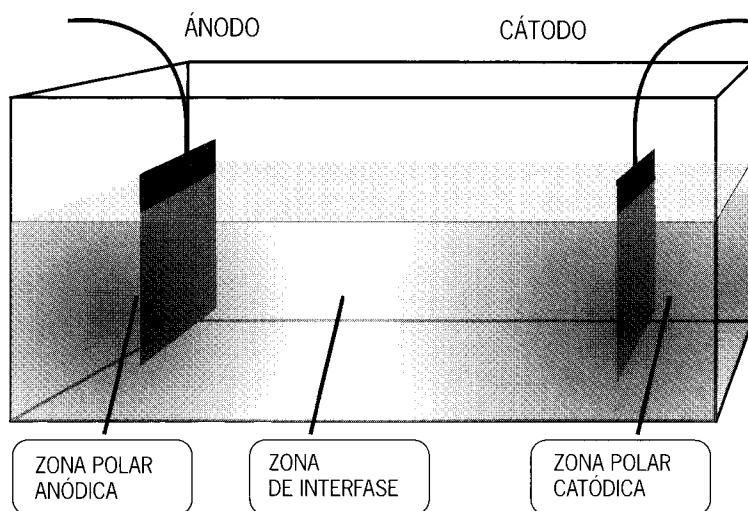


Figura 1. 40.

Mientras que en la zona de interfase los iones se mueven en ambos sentidos, se vuelven a hidrolizar aquellos que escapan a las zonas polares; en éstas, se producen concentraciones iónicas que alteran las condiciones químicas de la zona (Fig. 1. 40).

Otra observación digna de mención es la siguiente: cuando hacemos una aplicación de galvanismo, la practicamos a través de una gamuza empapada en agua o disolución salina sobre la piel, de manera que, si se originan reacciones químicas intensas en el electrodo, se producirán en la gamuza y no en la piel. Por lo tanto, la piel frena el desplazamiento de iones hacia los electrodos. En la piel no se producen las reacciones electroquímicas de los electrodos y, si ésta se altera, es por exceso de pH en un sentido o en el otro.

## Ley de Faraday

La cantidad de iones que se desplazan por la disolución para conseguir alcanzar el electrodo opuesto a su signo eléctrico y convertirse en átomos neutralizados, es regulada por la ley de Faraday, que, enunciada, dice (Fig. I. 39):

La cantidad, expresada en masa, de iones o soluto contenida en una disolución que se deposita o reacciona con los electrodos durante un tiempo es directamente proporcional a la cantidad de energía eléctrica aplicada en el mismo tiempo. Y, cuando la misma corriente pasa por varias cubetas electrolíticas en serie, las masas liberadas de cada sustancia son proporcionales a sus equivalentes electroquímicos.

Esta ley es aplicada en los procesos de electrólisis o baños galvánicos de los metales cuando son recubiertos por otro metal que los protege o embellece. Su fórmula es como sigue:

$$m = k \cdot I \cdot t$$

siendo:

m = masa depositada

k = al equivalente electroquímico

I = intensidad de la corriente en amperios

t = tiempo en segundos

Cuando pensemos en la cantidad de medicamento introducido con la iontoforesis, aplicaremos la siguiente modalidad:

$$mg = \frac{pm \cdot mA}{v \cdot 96500} \cdot t$$

siendo:

mg = miligramos de medicamento introducido

mA = miliamperios (si la intensidad se mide en amperios, mg debe ir en gramos)

v = valencia del radical medicamentoso

96500 = constante de Faraday

t = tiempo en segundos.

A título de ejemplo, veamos algunos iones metálicos (Tabla I. 1).

TABLA I. 1  
EQUIVALENTE ELECTROQUÍMICO DE ALGUNOS METALES

Metal	Valencia	Equivalente electroquímico
Aluminio	III	0,3356
Plomo	II	3,8654
Hierro	II	1,0419
Oro	I	7,3490
Oro	III	2,4497
Cobre	I	2,3707
Cobre	II	1,1854
Zinc	II	1,2197
Plata	I	4,0247
Magnesio	II	0,4535

## Espectro electromagnético

La física reparte las frecuencias de las corrientes (regulares y alternas) de acuerdo con su frecuencia o su longitud de onda simultáneamente, de suerte que, cuando la cantidad de frecuencia aumenta, la longitud de onda decrece, por ser inversamente proporcionales una con respecto a la otra. La física y la medicina no siempre coinciden en la clasificación del espectro, por el simple hecho de que la medicina tiende a fijarse en los efectos que producen sobre los tejidos vivos para clasificarlas.

*Por otra parte no debemos confundir el espectro electromagnético con el espectro sonoro; pues mientras el primero está formado por energía eléctrica y magnética, el sonoro es energía cinética que provoca ondulaciones y vibraciones mecánicas sobre la materia. Además, la energía electromagnética se propaga por el vacío, en tanto que la sonora no.*

Todos sabemos que las ondas electromagnéticas se distribuyen en dos grandes grupos:

### 1) BAJAS FRECUENCIAS

- MUY BAJAS < 1
- BAJAS
- MEDIAS

### 2) ALTAS FRECUENCIAS

- LARGAS
- MEDIAS
- CORTAS
- ULTRACORTAS
- MICROONDAS
- INFRARROJOS
  - tipo A
  - tipo B
  - tipo C
- LUZ VISIBLE (con sus colores)
- ULTRAVIOLETAS
  - tipo A
  - tipo B
  - tipo C
- RAYOS X
- RAYOS CÓSMICOS
  - radiaciones ALFA
  - radiaciones BETA
  - radiaciones GAMMA

Pero, tal vez, lo más importante para la fisioterapia consista en conocer el origen o fenómenos que generan las distintas ondas electromagnéticas, según lo cual tendremos claros muchos de sus efectos, a qué afectan, cómo generan energías nuevas en los tejidos y su grado de peligrosidad o contraindicaciones posibles.

## Radiaciones ionizantes y noionizantes

Todas las ondas que procedan del interior del átomo, de sus desequilibrios energéticos o de su descomposición, generarán efectos a idéntico nivel de la estructura atómica que las reciba. Por esta razón se afirma que las ondas o radiaciones ionizantes son aquellas que alteran la estructura elemental de la materia orgánica, produciendo mutaciones en sus códigos genéticos o moléculas más elementales (ya que, al desequilibrar un átomo, se desequilibra toda o parte de la molécula) (Fig. 1. 41).

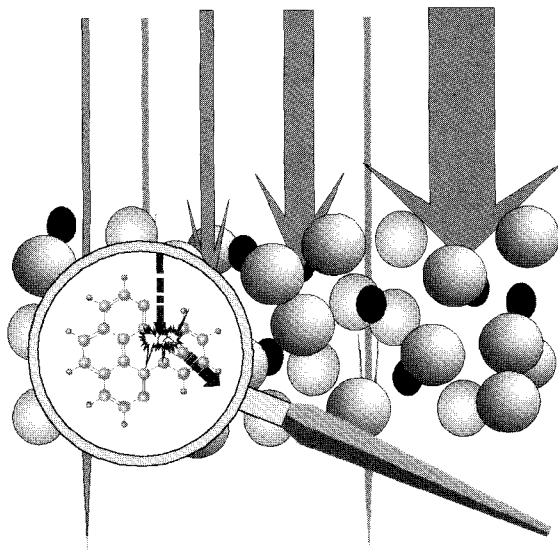


Figura 1. 41.

La razón física de este fenómeno se halla en la longitud de onda de las distintas radiaciones. Cuando las longitudes de onda son iguales o menores que los espacios intermoleculares de la materia, penetrarán en ella y bombardearán las moléculas o interior de los átomos, arrancando de ellos elementos sin los cuales se transformarán en otros totalmente distintos y alterarán los códigos genéticos.

Luego, a partir de los ultravioletas (tipo C), todas las radiaciones tienen poder ionizante o mutante de los elementos químicos por su corta longitud de onda. En la banda de la luz visible, también nos encontramos con fenómenos químicos, pero en el sentido de favorecer o destruir moléculas complejas formadas por compuestos elementales, debido a aportación de energía que favorecerá a dichas moléculas.

Las radiografías son posibles debido a los pocos obstáculos que encuentran los rayos «X» en los tejidos blandos, por su relativa densidad y la longitud de onda de los rayos, también muy corta. Lógicamente en el hueso aumentará el porcentaje de rayos interceptados en su camino y que no llegarán a la placa fotográfica.

Las radiaciones procedentes de los núcleos atómicos son las más peligrosas sobre el organismo. Las bandas largas, medias y cortas solamente mueven cargas eléctricas libres del

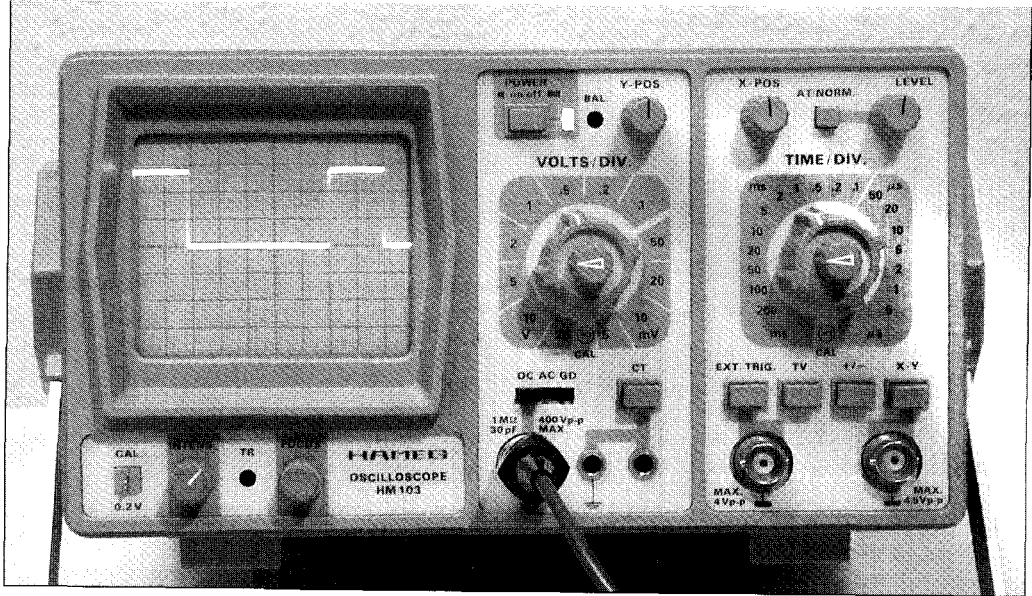
interior de la materia orgánica, aunque faltan realmente por descubrirse todos sus efectos biológicos e influencias beneficiosas o perniciosas.

En las ondas largas y cortas se usan métodos basados en la capacitancia de condensadores o inducción por bobinas, pero, según se aumenta la frecuencia (o se disminuye la longitud de onda), los métodos se transforman en antenas direccionales que irradian sobre la zona «chorros» de ondas electromagnéticas.

En su día se verán o se descubrirán los grandes aciertos o «barbaridades» cometidas con las aplicaciones de alta frecuencia, láser o magnetoterapia (Tabla I. 2).

**TABLA I. 2**  
**ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO DE ALTA FRECUENCIA**

Interior nuclear	Rayos cósmicos	Radiaciones ionizantes
Orbitales de los electrones	Rayos X	
	Ultravioletas	
Excitación molecular	Luz	Radiaciones no ionizantes
Vibración molecular	Infrarrojos	
	Microondas	
Rotación molecular	Ultra corta	
Oscilación de cargas eléctricas	Onda corta	
	Onda media	
	Onda larga	



## CAPÍTULO II

### Corrientes más utilizadas en electroterapia

Cuando utilicemos las distintas corrientes del menú disponible para los fisioterapeutas, va a ser fundamentalmente en forma de electricidad *dinámica*, salvo algunos efectos propios del galvanismo, que lo harán como *estática*.

Por causa de la gran diversidad de formas, tiempos, nuevas corrientes, superposición de efectos, etc., surgidos en los últimos tiempos y con idea de contribuir a sintetizar, aclarar, clasificar, resumir y desbrozar el tema, las distintas variantes podríamos agruparlas del siguiente modo:

- según los efectos sobre el organismo,
- según los modos de aplicación,
- según las frecuencias y
- según las formas de onda.

#### Clasificación según efectos sobre el organismo

- Efectos electroquímicos.
- Efectos motores sobre nervio y músculo.
- Efectos sensitivos sobre nervio sensitivo.
- Efectos por aporte energético para mejora del metabolismo.



## Clasificación según modos de aplicación

- pulsos aislados (ver fig. II. 12);
- trenes o ráfagas (ver fig. II. 13);
- aplicación mantenida o frecuencia fija (ver fig. II. 14) y
- corrientes con modulaciones (ver fig. II. 15).

## Clasificación según frecuencias

En fisioterapia se usan corrientes del espectro electromagnético de las denominadas radiaciones *no ionizantes*, cuyo límite se encuentra en las radiaciones ultravioletas de tipo B. Por encima se consideran radiaciones ionizantes no utilizadas en esta parte de electroterapia.

- Baja frecuencia de 0 a 1.000 Hz.
- Media frecuencia de 1.000 a 500.000 Hz (utilizadas desde 2.000 a 10.000 Hz).
- Alta frecuencia de 500.000 Hz hasta el límite entre los ultravioletas de tipo B y C.
- Realmente, debiéramos dividir la banda de alta frecuencia en dos bandas diferenciadas: radiofrecuencia y espectro de la luz.

## Clasificación según las formas de onda

Dado que las formas de onda son múltiples, las agruparemos en siete grandes apartados:

### De flujo constante y mantenida la polaridad

Galvánica o corriente continua (Fig. II. 1).

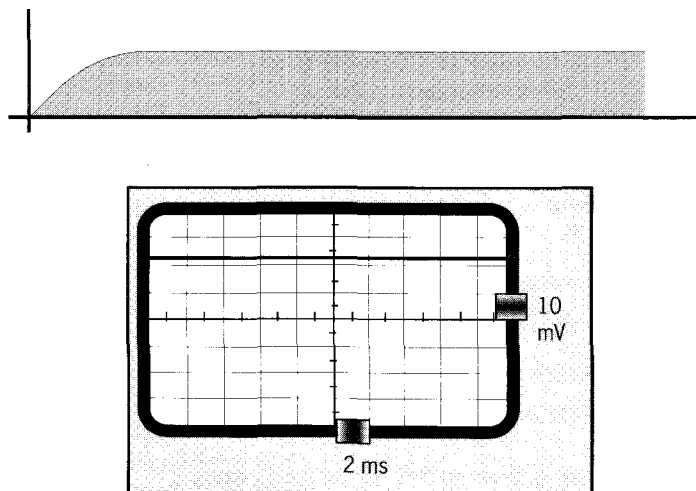


Figura II.1.

Aquí podemos ver la representación de la corriente galvánica en la pantalla de un osciloscopio. En este aparato de medidas eléctricas, averiguamos valores de frecuencia, período, tiempo de impulsos, voltaje o amplitud (que no de intensidad). Se atribuye un tiempo

en este caso 2 ms) a cada división de las abscisas y un voltaje a cada división de las ordenadas (10 mV en este ejemplo).

**De flujo interrumpido y mantenida la polaridad**

Interrumpidas galvánicas (Fig. II. 2).

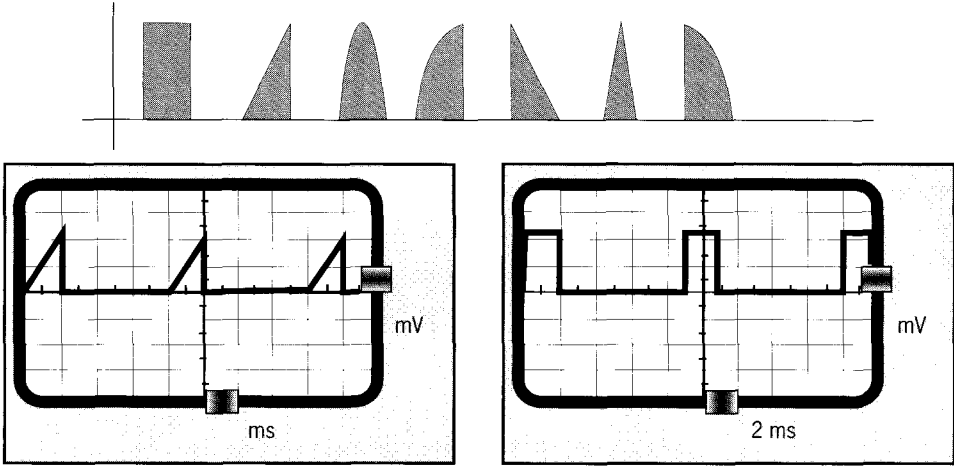


Figura II.2.

**De flujo constante e invertida la polaridad**

Alternas (Fig. II. 3).

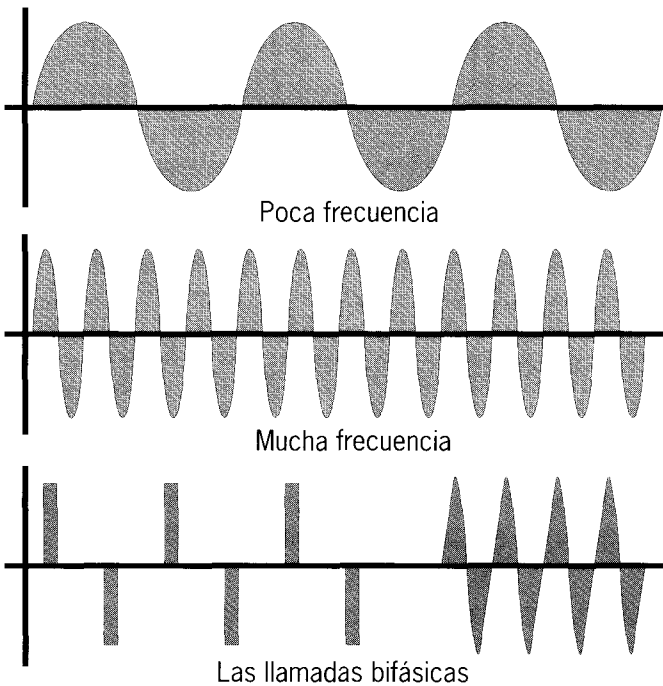


Figura II.5.

### De flujo interrumpido e invirtiendo la polaridad

Interrumpidas alternas (Fig. II. 4).

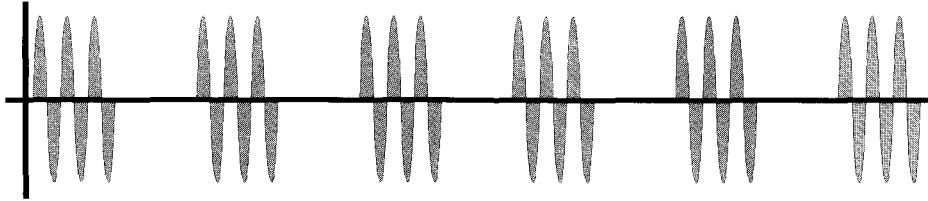


Figura II.4.

### Modulando la amplitud

Interferenciales y otras de media frecuencia (Fig. II. 5).

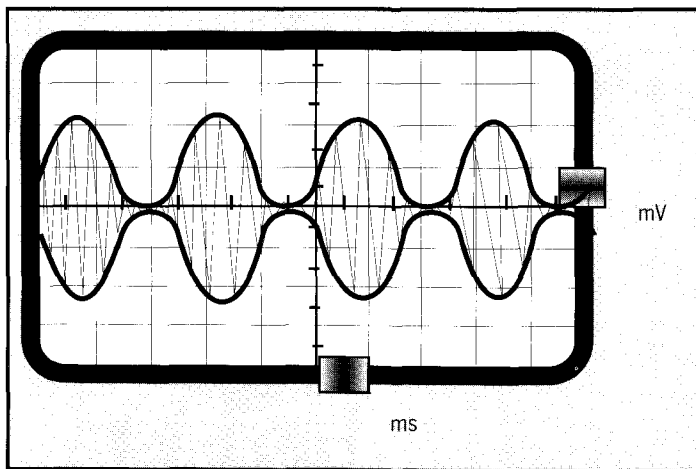
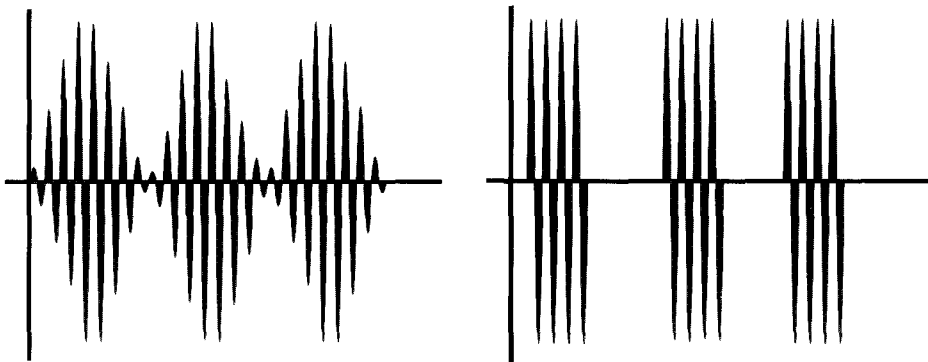


Figura II.5.

### Modulando la frecuencia

Barridos de frecuencia con interrupidas galvánicas o modulaciones de media frecuencia (interferenciales) (Fig. II. 6).

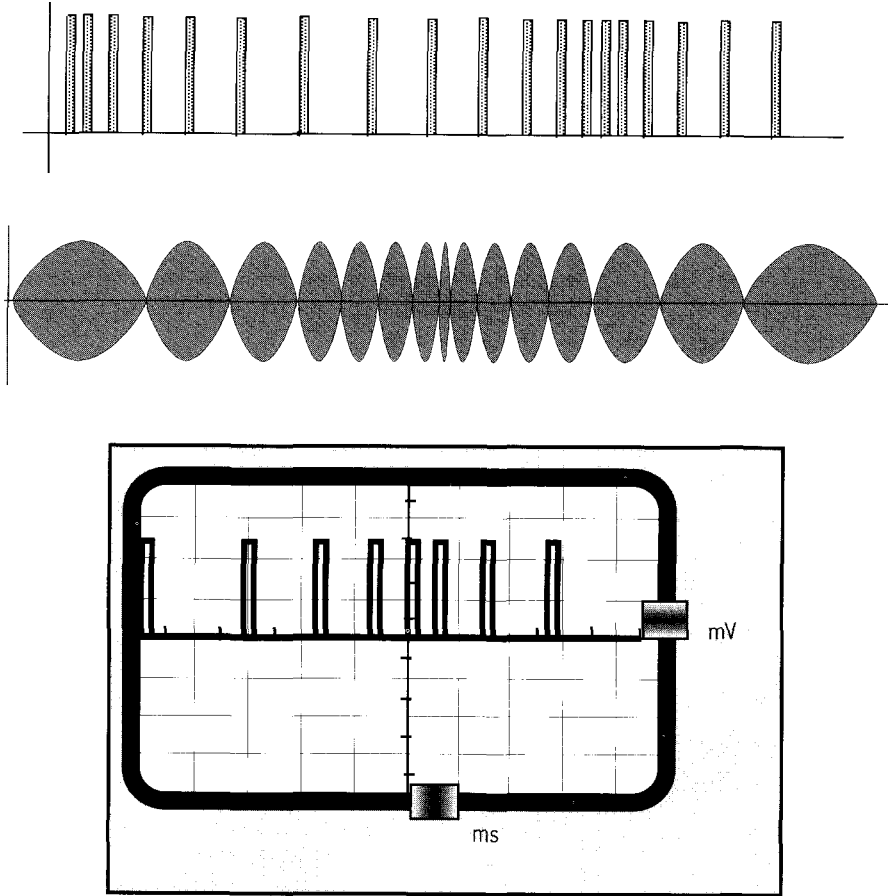


Figura II.6.

### Aplicación simultánea de dos o más corrientes

Ejemplos de esta modalidad podemos encontrarlos en:

- Diadinámicas con base de galvánica (Fig. II. 7).

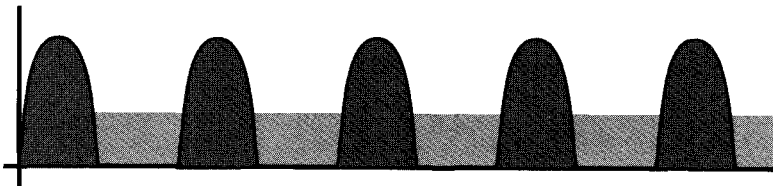


Figura II.7.

- Mezcla aleatoria de formas de pulsos, tiempos de pulsos, frecuencias, etc. (las llamadas estocásticas).
- Trenes que intercalan frecuencias vibratorias.
- Programas que pasan automáticamente de una modalidad a otra.
- Etcétera.

Por el momento, hasta que no se inventen o diseñen otras nuevas, nos basaremos en estas siete variantes o grandes grupos de corrientes. Este breve resumen o introducción lo volvemos a repasar con más detalle.

## 1. FLUJO CONSTANTE Y MANTENIDA LA POLARIDAD. GALVÁNICA O CORRIENTE CONTINUA

Consiste en aplicar corriente continua al organismo y hacerlo subir lentamente la intensidad y manteniendo dicha intensidad sin alteración alguna, al mismo tiempo que no hacemos variar la polaridad durante toda la sesión (Fig. II. 1).

Esto implica que los electrones van a entrar en la materia viva por el electrodo negativo o *cátodo* y salen de ella por el polo positivo o *ánodo*; bien moviéndose los electrones, bien desplazándose los iones con sus cargas eléctricas hasta los electrodos, de los cuales tomarán o cederán su carga, cerrando así el circuito.

Esta corriente, la que por sí sola forma un grupo, provoca efectos electrolíticos y electroforéticos sobre el organismo. Asimismo, es una de las corrientes más importantes como generadoras de aporte energético al metabolismo, ya que gran parte de su energía se transforma en calor en el interior de los tejidos vivos.

El galvanismo no tiene *frecuencia* ni *período*, pero es más adecuado atribuirle la cualidad de frecuencia infinita.

## 2. FLUJO INTERRUMPIDO Y MANTENIDA LA POLARIDAD. INTERRUMPIDAS GALVÁNICAS

Cuando aplicamos una corriente galvánica de forma que mantenemos la polaridad establecida desde el principio, pero hacemos interrupciones en su intensidad, las denominaremos *interrumpidas galvánicas*.

Al provocar interrupciones o *reposos*, nos van a quedar dibujados los momentos de aplicación, que, según la velocidad con que se produzcan dichas variaciones de intensidad, gráficamente pueden representarse de distintas formas: los denominaremos *impulsos* (Fig. II. 2). Este grupo de corrientes es el más clásico de la electroterapia de baja frecuencia.

### Impulsos

Son muchas las formas de los impulsos a estudiar. Les daremos unos parámetros por los que nos guiaremos para su análisis (obsérvense Figs. II. 8, 9 y 10):

- A) *Forma*
- B) *Tiempos de duración del impulso*
- C) *Tiempo del reposo entre impulsos*
- D) *Período*

**A) FORMA:**

- cuadrangular,
- triangular,
- sinusoidal,
- exponencial,
- diente de sierra,
- tiratrón y
- distintas combinaciones que se nos ocurra hacer al variar voluntariamente cualquiera de los parámetros antes citados (Fig. II. 8).

**AMPLITUD:**

altura máxima del impulso (coincide con el mantenimiento de la onda).

**SUBIDA:**

rápida;

progresiva: lineal o exponencial (Fig. II. 10).

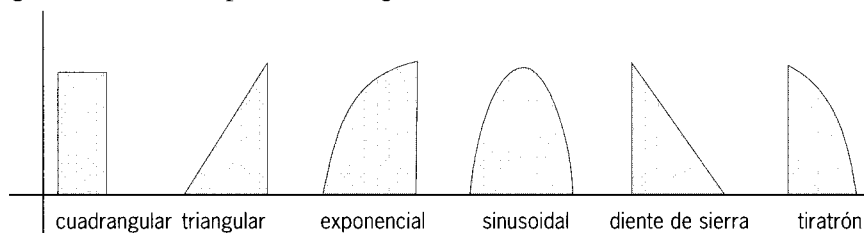


Figura II.8.

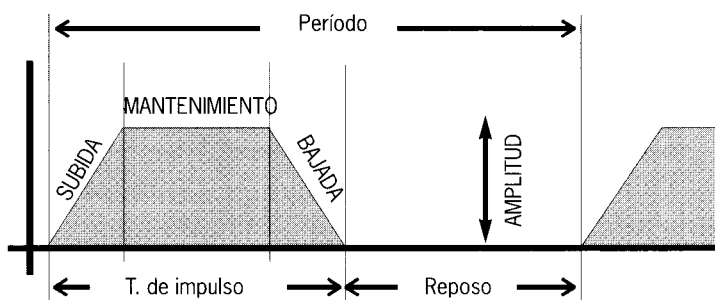


Figura II.9.

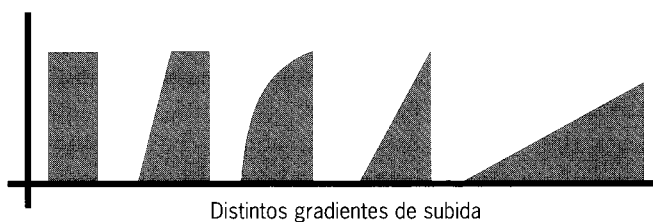


Figura II.10.

**MANTENIMIENTO:**

valor coincidente con la máxima amplitud del impulso.

**CAÍDA:**

rápida;

progresiva: lineal, exponencial o parábola invertida.

**B) TIEMPOS DEL IMPULSO (Fig. 11. 9):**

- total del impulso (t. de imp.);
- de subida (t.S);
- de mantenimiento (t.M);
- de bajada (t.B).

**C) REPOSOS.** A los reposos daremos solamente el parámetro del tiempo que duran.

**D) PERÍODO.** Combinando los tiempos de los distintos impulsos con los tiempos de los reposos, de manera que, sumando el tiempo de un impulso más un reposo, obtenemos el **período** (Fig. 11. 9) y, con el período, podemos hallar la frecuencia de repetición por cada segundo.

Hemos de notar que los tiempos de los impulsos pueden ser muy distintos de los tiempos de los reposos. De hecho, muchas de las corrientes están formadas por impulsos y reposos totalmente diferentes. Por ejemplo: los trenes de farádicas suelen componerse por impulsos de 1 a 2 ms y reposos de 20 ms. También, cuando aplicamos impulsos aislados con el fin de explorar un músculo, lo haremos con impulsos de distintos tiempos expresados en ms separados por reposos de 2 a 3 sg (Fig. 11. 11).

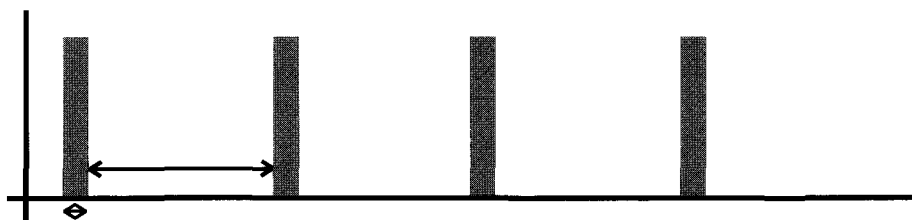


Figura 11.11.

Las corrientes formadas por *interrumpidas galvánicas* normalmente abarcan una banda de frecuencias de 1 a cerca de 1.000 Hz o, lo que es igual, *baja frecuencia*; se destinarán a estimular al sistema muscular (tanto de fibra lisa como estriada) y al sistema nervioso (tanto el sensitivo como el motor).

Cuando estimulemos a los músculos y al nervio motor, tendremos respuestas motoras o mecánicas de los músculos; cuando lo hagamos sobre nervio sensitivo, normalmente irá destinada a técnicas de concienciación sensitiva o a producir analgesia (siempre que la intensidad aplicada no supere el umbral motor por encima del sensitivo). Si la proporción entre el tiempo del pulso y el reposo es poca o moderada, estas corrientes aportan un importante componente galvánico y ofrecen efectos propios de la galvánica.

Hay *cuatro* formas principales de utilizar estas corrientes:

### 1) Impulsos aislados

*Impulsos aislados entre reposos muy largos* (electroestimulación motora con impulsos cuadrangulares o de subida progresiva) (Fig. II. 12).

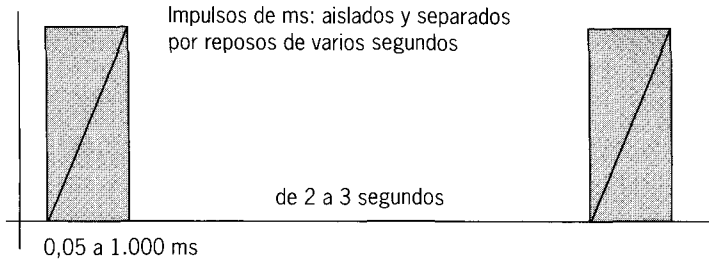


Figura II.12.

### 2) Trenes

*Impulsos agrupados en ráfagas* (faradización) (Fig. II. 13).

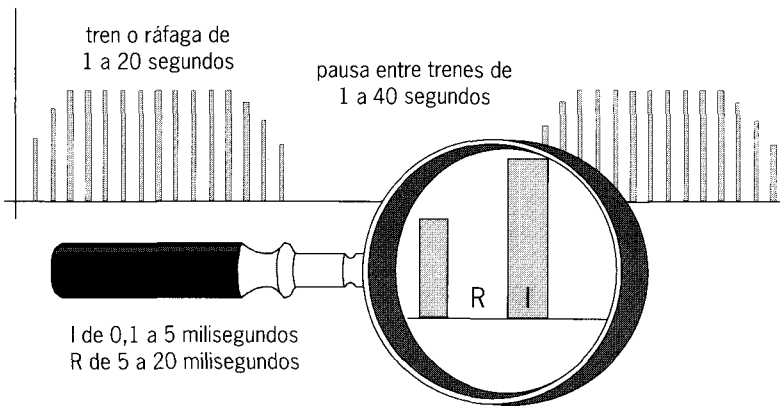


Figura II.13.

### 3) Aplicación mantenida

*Impulsos con sensación de repetición* (siempre con la misma frecuencia) (Fig. II. 14).

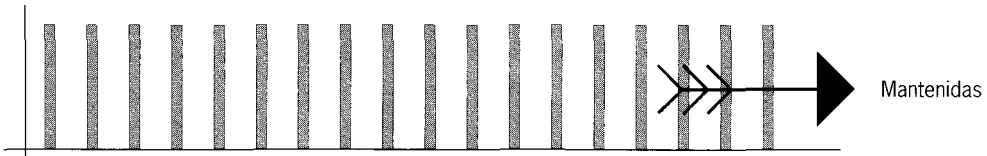


Figura II.14.

### 4) Barridos de frecuencia

*Impulsos entre reposos que cambian de duración constantemente y según una determinada cadencia* (moduladas en frecuencia (MF) o aperiódicas de Adams cuando los pulsos son cuadrangulares y polarizados) (Fig. II. 15).



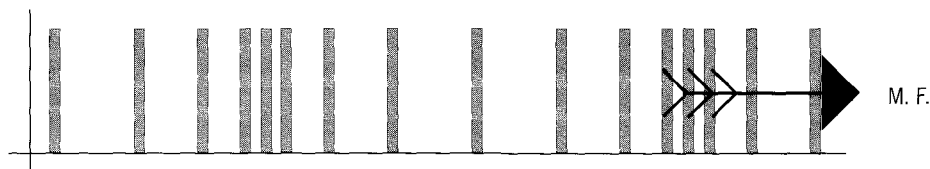


Figura II.15.

En este punto se necesita una aclaración referente a la intensidad y su forma de medición con sistemas analógicos, es decir, miliamperímetros de aguja.

Cuando aplicamos corriente galvánica, vemos que la aguja sube y se mantiene sin ninguna oscilación. Pero, si medimos una *interrumpida galvánica*, podemos llegar a observar que la aguja del sistema oscila debido a que, durante el reposo, mediría cero y, cuando va camino de cero (antes de llegar) tiene que indicar de nuevo la medida del siguiente impulso; pero, antes de conseguir su objetivo, el impulso ha desaparecido y la aguja vuelve atrás de nuevo, repitiéndose este proceso durante el tiempo de aplicación. Circunstancia causante de que la aguja se mantenga oscilando en una zona intermedia entre cero y el punto máximo o de medida real.

Esto nos indica que la medida de la intensidad se ve alterada por varios factores:

- el sistema de medida del equipo se halla instalado entre paciente y generador de la corriente;
- durante el tiempo de reposo no hay intensidad;
- la inercia de la aguja no le permite la rapidez suficiente como para indicar la intensidad del impulso;
- cuanto más cortos son los impulsos, aunque vayan aislados, menor será la eficacia de medida.

En su momento veremos que es importantísimo disponer de un sistema eficaz de medida, ya que utilizaremos determinados impulsos para exploración, en la que uno de los parámetros fundamentales será la intensidad real aplicada en cada impulso. Serán sistemas capaces de reflejar la intensidad de pico (en cada pulso).

**En definitiva, todas las corrientes que mantengan una polaridad y que estén formadas por impulsos y reposos serán *interrumpidas galvánicas*, aunque por su entidad algunas se estudien aparte, como pueden ser las *farádicas* o las *diadinámicas*.**

### 3. FLUJO CONSTANTE E INVERSIÓN DE LA POLARIDAD. ALTERNAS

Si aplicamos sin interrupciones una corriente eléctrica, con alternancias rítmicas en su polaridad, obtendremos una serie de corrientes llamadas alternas (Fig. II. 3), en las que sus pa-

rámetros suelen ser repetitivos y homogéneos, tanto en su frecuencia, forma de onda, iguales tiempos de duración entre las distintas ondas, sin variaciones en la intensidad, etcétera.

El parámetro más importante es la *frecuencia*, que puede oscilar desde 1 Hz (o menor que 1, pero nunca 0) hasta miles de millones de oscilaciones por segundo. Dependiendo de las frecuencias que utilizemos, obtendremos, para nuestros fines terapéuticos, unos efectos u otros.

Antes de seguir avanzando, aclararemos una cuestión interesante: las anteriores corrientes que se han descrito hacen que los electrones se desplacen en un solo sentido, es decir, entran en el conductor orgánico (cuerpo del paciente) por el cátodo y salen del organismo al ánodo a mayor o menor velocidad (dependiendo de la intensidad y diferencia de potencial), en flujo constante o con interrupciones, si lo que se aplica es galvanismo o interrumpidas galvánicas respectivamente.

Desde el momento que hagamos cambios en la polaridad, los electrones no se desplazarán en un único sentido, sino que durante la onda positiva lo harán en un sentido y durante el tiempo que dure la negativa lo harán en el contrario (Fig. II. 16).

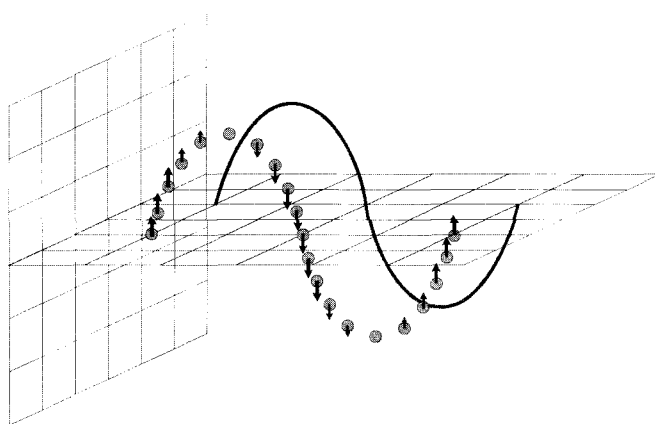


Figura II.16.

Lo expuesto nos hace afirmar que los efectos sobre la materia viva que produce el galvanismo al alterar los iones y su química con las corrientes alternas se eliminan y, en consecuencia, las consideraciones sobre la colocación de los electrodos y su polaridad pierden su importancia. En caso de aparecer efectos sobre la electrólisis, lo será como mecanismo secundario, pero no directo e inmediato.

Más arriba veníamos diciendo que las diferencias frecuencias producen efectos y comportamientos distintos en la materia viva, debido fundamentalmente a cambios en la impedancia.

Para nuestras consideraciones como fisioterapeutas, donde lo interesante son los distintos efectos fisiológicos y formas de actuar de las variadas frecuencias, haremos una clasificación «*de alternas*» que no tiene nada que ver con la hecha por la física.

Tal vez esta clasificación no esté de acuerdo con las realizadas por otros autores, pero con ánimo de simplificar y de no caer en ensaladas de números que conducen a memorizar en

lugar de aclarar conceptos, recurro a ésta tan simple añadiendo a continuación más detalles de las principales formas que se están utilizando:

- baja frecuencia de 0 a 1.000 Hz;
- media frecuencia de 1.000 a 500.000 Hz (utilizados desde 2.000 hasta 10.000 Hz);
- alta frecuencia de 500.000 Hz hasta el límite entre los ultravioletas de tipo B y C. Realmente debiéramos dividir la banda de alta frecuencia en dos bandas diferenciadas: el espectro de radiofrecuencia que termina en las microondas de 0,2 mm de longitud de onda y el espectro de la luz, dividido a su vez en banda de infrarrojos, luz visible y ultravioletas (únicamente los de tipo A).

### **Baja frecuencia**

En algunos aparatos antiguos, ya que en los modernos no se encuentra, se podía hallar para aplicar, la corriente de 50 Hz alterna (la misma frecuencia de la red eléctrica), con efectos excitomotores o para estimular el sistema nervioso sensitivo. Estas corrientes han caído en desuso.

Hace algunos años apareció una modalidad, aunque no es propiamente alterna, denominada *bifásica*, procedente de la unión entre la onda positiva de un circuito con la onda negativa de otro distinto; pero ésta será estudiada como grupo aparte (ver Fig. II. 26).

La frecuencia 0 Hz (mejor, frecuencia infinita) o galvánica no debe considerarse como tal, pero, en la práctica, ésta se incluye en los electroestimuladores. En las bajas frecuencias raramente se utiliza la forma de onda alterna sinusoidal.

### **Media frecuencia**

Aprovechando que, al aumentar la frecuencia, los tejidos disminuyen su impedancia (resistencia al paso de la corriente con variaciones en sus parámetros), se aplican corrientes alternas con frecuencia típica de 4.000 Hz (regulable entre 2.000 y 10.000 Hz) sobre dos circuitos distintos que se cruzan para obtener una nueva frecuencia más baja. Dicha baja frecuencia es el resultado de la diferencia entre los dos circuitos de media interferidos. Los efectos considerados y aprovechables son los determinados por la baja frecuencia.

En esta banda de 1.000 a 500.000 Hz no parece que se produzcan demasiados efectos terapéuticos, a no ser que no se hayan descrito hasta el momento; no obstante, en el capítulo de media frecuencia se verán efectos específicos de la portadora sin modular.

### **Alta frecuencia**

La alta frecuencia se caracteriza por sus efectos calóricos sobre los tejidos de la materia viva. Tejidos que se convierten en bastante buenos conductores de estas corrientes, dada la baja impedancia presentada.

Tanto esta banda de la alta frecuencia como las radiaciones infrarrojas y luz se convierten en las principales herramientas de aporte energético al organismo.

Próximo y por debajo del millón de Hz (1 Mhz), ya se usaron en la «antigüedad de la electroterapia» algunas corrientes que comenzaban a producir efectos poco conocidos y don-

de lo más llamativo era el chisporroteo superficial y la sensación de calor. Son las llamadas *corrientes de D'Arsonval* que se aplicaban entre los 500.000 Hz y 1 Mhz.

En la actualidad, se ponen en el mercado aparatos con las mismas frecuencias de las antiguas de D'Arsonval y se publicitan con efectos de «*regeneradores funcionales*» o *recuperadores celulares*».

Las formas hasta ahora utilizadas, basadas en las distintas frecuencias, que no en otras modalidades que más adelante veremos, son:

- D'Arsonval: de 0,5 a 1 Mhz.
- Diatermia: alrededor de 10 Mhz.
- Onda corta: 27 Mhz.
- Onda corta: 40 Mhz.
- Ultracorta: 430 Mhz.
- Microondas: 900 Mhz.
- Microondas: 2.450 Mhz. (Radarterapia).

La expresión «diatermia» suele utilizarse como concepto genérico de termoterapia en profundidad. Los fisioterapeutas hablamos de *termoterapia de alta frecuencia* o *termoterapia profunda* refiriéndonos a cualquiera de las frecuencias antes citadas.

La razón por la que se nombran solamente unos puntos determinados del espectro electromagnético, obedece a repartos de frecuencias por acuerdos internacionales, con lo que se evitan invasiones en bandas usadas en otras doctrinas industriales o de telecomunicaciones.

Una característica fundamental que debe llamar la atención sobre esta amplia banda de corrientes es su forma de aplicación — mediante electrodos que se colocan a cierta distancia de la piel del paciente — mientras que en las frecuencias baja y media los electrodos se fijan directamente sobre la piel, a excepción de las corrientes de D'Arsonval, que se aplican semidirectamente sobre la superficie corporal, razón por la que están aún más a caballo entre la media y la alta frecuencia. Su aplicación se asemeja a una sesión de ultrasonidos.

Cualquiera de los puntos del espectro electromagnético de alta frecuencia que no sobrepase los ultravioletas (concretamente el tipo C) se consideran radiaciones *noionizantes*. Si las frecuencias sobrepasan los límites del ultravioleta (B) para entrar en los de tipo (C) — rayos X, alfa, beta, gamma — se convierten en radiaciones *ionizantes*, es decir, radiaciones que por su sola presencia, cuando impactan sobre la materia viva, alteran su química elemental mediante la propiedad que tienen de influir en la ionización de los elementos.

#### 4. FLUJO INTERRUMPIDO E INVIRTIENDO LA POLARIDAD. INTERRUMPIDAS ALTERNAS

En el grupo anterior, la polaridad se invertía (igual que ahora) y el «vaivén» o flujo de corriente se mantenía constante, mientras que a éstas les vamos a hacer interrupciones o espacios en la aplicación de la corriente, dando como consecuencia «*paquetes, pulsos, o tre-*

nes de ondas» alternas seguidas de reposos más o menos largos con el fin de conseguir la corriente que deseamos (ver Fig. II. 4). Podríamos incluir aquí las que más adelante denominaremos *moduladas en pulsos*.

Las corrientes que se obtienen así son de relativa y reciente aplicación en la electroterapia, y las encontramos en los pequeños estimuladores del sistema nervioso sensitivo (técnica de TNS estimulación nerviosa transcutánea), con fines analgésicos. También se hallan en la gama y distintas modalidades de *magnetoterapia*, formando trenes de impulsos cuya frecuencia está en la banda de media frecuencia. Por último, a las corrientes de alta frecuencia o *térmicas* se les hacen interrupciones en su aplicación a fin de que la alta frecuencia no llegue a producir calor, pero, en su lugar, se consiguen efectos distintos a los calóricos (también terapéuticos). Estamos hablando de las *ondas cortas y microondas atérmicas* o «*diapulse*». Asimismo, se utiliza esta modalidad con los ultrasonidos pulsátiles y el láser pulsado.

Una de las razones por las que se usa esta modalidad es, tal vez, para emplear tecnología diseñada con otros fines industriales y derivada a la fabricación de equipos de electroterapia. Otra utilidad consiste en regular la potencia o efecto calórico de los aparatos de termoterapia, ajustando e implantando reposos más largos que los trenes de ondas para conseguir poco efecto calórico con el fin de regular más o menos efecto térmico manteniendo siempre la misma amplitud o potencia de las ondas.

Si en una aplicación de Microonda, introducimos una pausa cada segundo, lo podemos hacer de manera tal que 1/2 segundo lo ocupe la onda fundamental o tren, y el otro 1/2 segundo lo ocupe la pausa, con lo cual, la relación sería de 1:1, o sea, el 50% de la aplicación (Fig. II. 17).

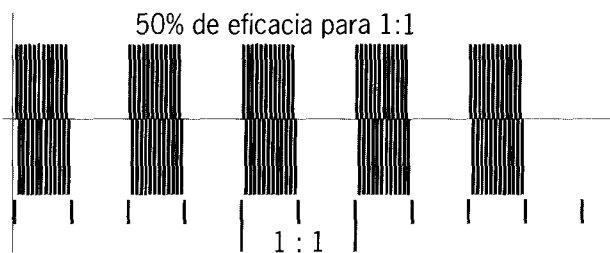


Figura II.17.

Pero si hacemos que 1/3 de segundo lo ocupe la onda fundamental y los 2/3 la pausa, la relación es de 1:2, es decir, aplicamos el 33% de la energía. Incluyendo, en esta forma de trabajo (como se dijo más arriba), al *láser y ultrasonido* (Fig. II. 18).



Figura II.18.

Resumiendo, podemos decir que, más que aplicar nuevas corrientes con esta modalidad de *alternas interrumpidas*, lo que hacemos es aplicar las ya existentes de nuevas maneras, llegando casi a «rizar el rizo», ya que se están comercializando equipos (pongamos como ejemplo) de termoterapia, que nos ofrecen:

- 1) *Frecuencia fundamental* (27 Mhz, 2.450 Mhz, etc.) (Fig. II. 19).

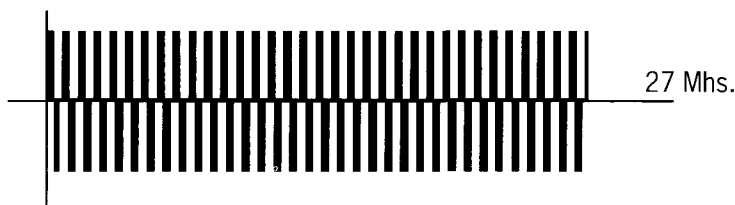


Figura II.19.

- 2) *Trenes de la onda fundamental* (100, 200, 300, 400 Hz, etc.) (Fig. II. 20).

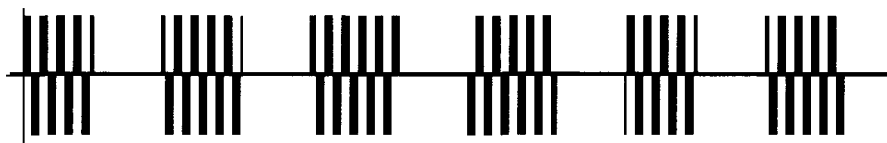


Figura II.20.

- 3) *Trenes de los trenes de la onda fundamental* (1/3 de sg, 2/3 de sg, 3/3 de sg, etc.) (Fig. II. 21).

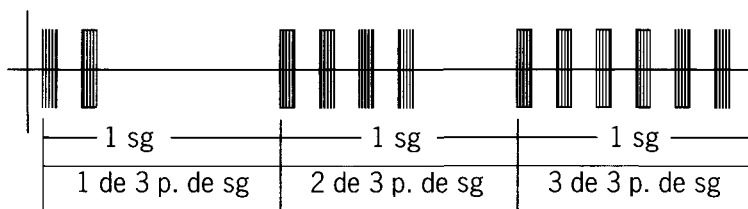


Figura II.21.

Además de todo esto, tenemos la posibilidad de establecer tiempos de duración distinta para la misma frecuencia que hayamos elegido en el punto 2).

Situaciones que nos vienen dadas, fundamentalmente, por razones de la técnica constructiva de los aparatos, en la época de la microcomputerización, más que por razones terapéuticas. Pero, al fin, son circunstancias que nos crean estados de angustia y de duda al presentarnos semejante «ensalada de números» sin entender qué es y para qué sirve.

No nos queda más remedio, como profesionales, que tratar de entender las nuevas formas y ofrecimientos de la técnica, con el fin de estar capacitados para depurar lo realmente útil de la «morralla», en lugar de dejarnos impresionar por las posibilidades cuasi milagrosas que «exponen los parcos folletos publicitarios».

## 5. MODULADAS EN AMPLITUD. MEDIA FRECUENCIA, INTERFERENCIALES, TNS, MAGNETOTERAPIA Y OTRAS

Corrientes (**normalmente de media frecuencia**) donde las ondas (positiva y negativa) oscilan simultáneamente, aumentan y disminuyen de amplitud a la par y en el mismo instante.

Este fenómeno se produce por la mezcla o suma de dos circuitos eléctricos, por la interferencia de dos ondas alternas de distinta frecuencia o por interrupciones en la media frecuencia. Entonces, la resultante es una nueva *modulada en amplitud* y cuya frecuencia es la diferencia entre las frecuencias de los circuitos que se cruzan, pero sin cambios en la frecuencia modulada (Fig. II. 22). El contorno formado por los picos de las ondas pequeñas (de media frecuencia) compondría las ondas de las que hablamos.

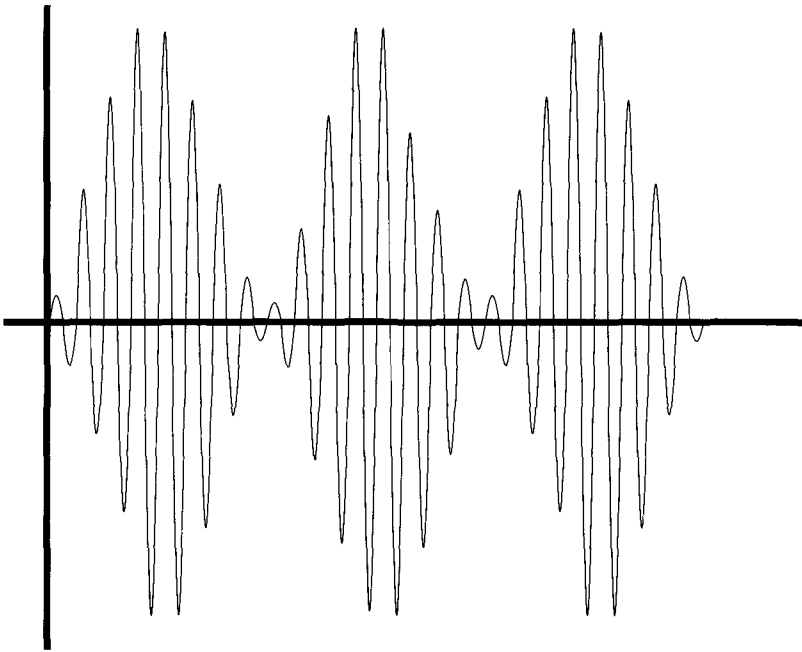


Figura II.22.

Se están aplicando y construyendo equipos para conseguir efectos motores, produciendo modulaciones de media frecuencia con 2.500 Hz de portadora y destinadas a la obtención de trenes, las llamadas *corrientes de Kotz* (Fig. II. 23). La diferencia esencial de éstas consiste en que las modulaciones tienen forma cuadrangular en lugar de sinusoidal, como en las interferenciales clásicas.

## 6. MODULADAS EN FRECUENCIA. BARRIDOS DE MEDIA FRECUENCIA, INTERFERENCIALES, APERIÓDICAS DE ADAMS

Son corrientes en las que el aparato se programa de tal manera, que generan unos impulsos a una frecuencia variable entre dos límites. Es decir, a título de ejemplo, pode-

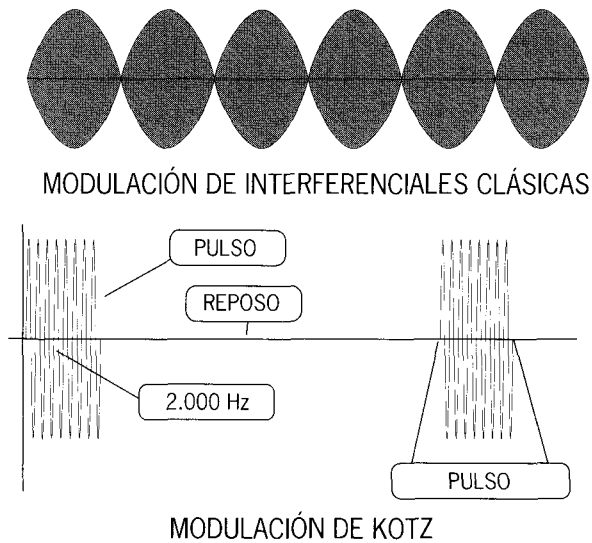


Figura II.25.

mos programar un aparato para generar impulsos que cubran las frecuencias entre 20 y 100 Hz.

El aparato comenzará emitiendo 20 Hz y hará un barrido durante unos segundos por todas las frecuencias intermedias hasta alcanzar los 100 para volver hasta 20 y empezar de nuevo (Fig. II. 24).

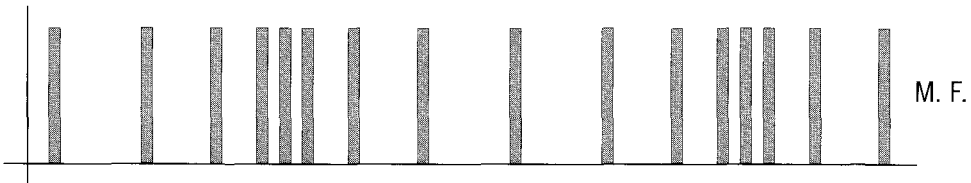


Figura II.24.

La aplicación consiste en someter al organismo a barridos entre dos frecuencias, con el fin de que, durante algunos instantes, se aplique la frecuencia óptima para conseguir el efecto deseado a la vez que se evita la acomodación (acostumbramiento) del sistema nervioso.

Normalmente, se consigue alargando o disminuyendo los tiempos de reposo, manteniendo fijo el tiempo del impulso, siendo características las *aperiódicas de Adams* o *moduladas en frecuencia*, pero en baja frecuencia.

Volvemos a hacer referencia en este apartado a las *interferenciales*, ya que otro de sus parámetros fundamentales se basa en barridos sucesivos entre dos frecuencias prefijadas, lo cual las hace que compartan, simultáneamente, el grupo de las *moduladas en amplitud* y *moduladas en frecuencia* (véase capítulo XII).



La electrónica *digital* nos permite grandes posibilidades para la obtención de equipos fiables y con gamas amplias de corrientes con las que poder estudiar las distintas respuestas del organismo ante dichas corrientes, pero sin caer en la venalidad de inventarnos corrientes que hasta el momento nadie las diseñó, creyendo en la panacea de que todo lo «curarán» y diseñadas sin base fisiológica.

Necesitamos partir de la fisiología y conocimiento de nuestro organismo para llegar a posibles diseños y formas de corrientes que nos permitan conseguir los objetivos propuestos, sin olvidar los efectos secundarios que puedan acarrear.

### Moduladas en amplitud y frecuencia simultáneamente

Las interferenciales del Dr. Nemeč son características en este modo de aplicación, es decir, se produce una modulación en amplitud, pero a distintas frecuencias mediante un barrido repetitivo (que dura segundos) entre los puntos prefijados como mínimo y máximo.

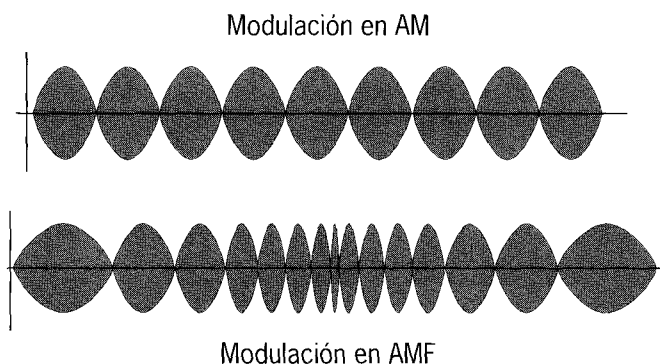


Figura II.25.

Son las denominadas (AMF) (MAF), o cualquier otra sigla que indique: (M)odulación en (A)mplitud y en (F)recuencia (Fig. II. 25).

## 7. APLICACIÓN SIMULTÁNEA DE VARIAS CORRIENTES

En ocasiones se aplica más de una corriente simultáneamente, como puede ser en:

- las diadinámicas con su base de galvánica;
- ultrasonidos a la par de interferenciales y
- algunas que han dejado de usarse, o se aplican dependiendo de la ocurrencia de alguien o, tal vez, debido a una buena investigación digna de consideración.

***Nunca olvidemos que una corriente aunque no se combine con otra suele generar varios efectos simultáneamente.***

## Otras corrientes

### CORRIENTES BIFÁSICAS DE ALTO VOLTAJE

Tendremos especial cuidado con no confundir la expresión *bifásica* con la modalidad de diadinámicas denominada *difásica fija*.

Los modernos equipos portátiles y de baterías recargables, con el fin de conseguir ondas con un fuerte efecto motor o sensitivo, acuden al recurso técnico de aplicar una doble onda consecutiva una de otra (una hacia positivo y otra hacia negativo), ya que si la onda generada lo fuera en un sólo sentido o fase, no aplicaría suficiente energía eléctrica.

El sobrenombre de alto voltaje indica que están formadas por pulsos muy cortos y requieren mayor altura o voltaje para conseguir el mismo efecto que los más anchos.

Además, las casas fabricantes las ofrecen como «corrientes sin efecto galvánico para evitar la quemadura». Se usan distintas combinaciones de onda, siendo las más frecuentes: (Fig. II. 26).

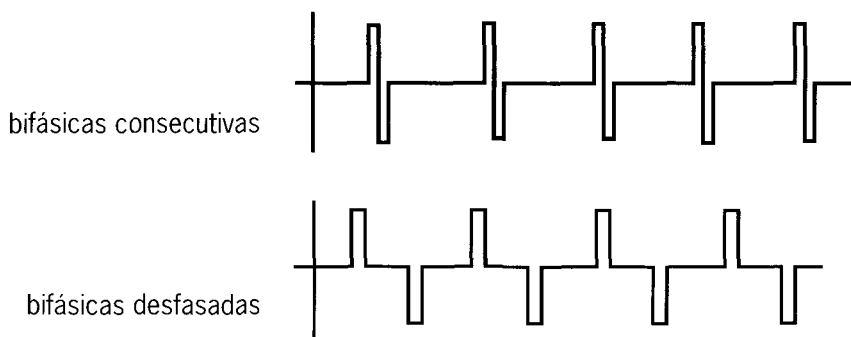


Figura II.26.

Estas formas se consiguen o modulan en distintas frecuencias, en barridos de frecuencia, en trenes, etc. Suelen abundar en los pequeños equipos digitalizados.

**Este grupo también podría clasificarse dentro de las alternas o interrumpidas alternas.**

### VIEJAS FORMAS DE ONDA

La tecnología de los circuitos electrónicos en los viejos equipos de baja frecuencias no permitía la consecución de muchas de las ondas y corrientes que en la actualidad se usan.

Sabemos que las ondas más adecuadas para obtener respuestas óptimas de sensibilidad y motricidad son las de subida rápida y, mejor, las cuadrangulares bifásicas que las monofásicas. Pero «aquellos rancios aparatos de lámparas de vacío» no lo conseguían, y en su lugar nos daban la vieja corriente de Faraday, consistente en unos picos triangulares con un cierto componente en la fase negativa que se agrupaban en trenes o farádicas (Fig. II. 27).

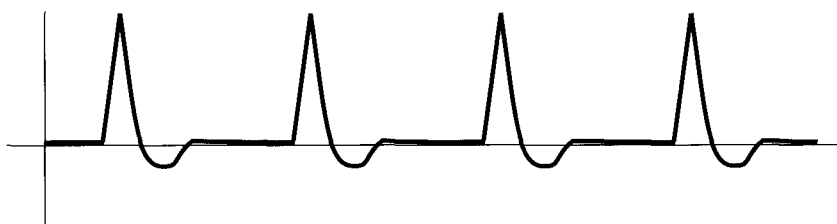


Figura II.27.

Cuando la técnica permitió disponer de impulsos cuadrangulares perfectos, fueron sustituidos los triangulares de las farádicas y algunos autores denominaron a los nuevos trenes de impulsos cuadrangulares como *neofarádicas* u *homofarádicas*.

Tal vez sea más prudente no contribuir a la confusión y a falsos misterios de nuevos «inventos» y, aunque solamente sea «por eso de apoyarnos en la fisiología», las seguiremos llamando *farádicas*, como siempre.

También nos ofrecían los viejos y «duros» equipos corrientes, que tienden a desaparecer, formadas por impulsos de subida exponencial, tratando de emular impulsos de subida progresiva *lineal* (Triangulares) (Fig. II. 28).

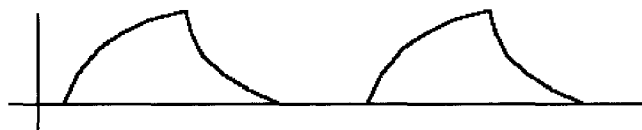


Figura II.28.

Para tal fin, se descargaban condensadores previamente cargados, pero las ondas de carga y descarga de éstos no era lineal, circunstancia corregida en la actualidad con los modernos equipos (Fig. II. 29).



Figura II.29.

Por otra parte, con cierta frecuencia nos encontramos ante estimuladores que generan ondas poco perfectas, pero tratan de cumplir con su cometido de estimulación sensitiva o motora aunque no sean cuadrangulares ni triangulares perfectas (no conviene olvidar que los impulsos generados por el propio sistema nervioso tampoco son cuadrangulares):

- cuando las impedancias de salida no se adaptan adecuadamente;
- cuando los aparatos disponen de transformadores con bobina en la salida;

- cuando los circuitos electrónicos no son demasiado depurados;
- cuando medimos la señal en condiciones falsas, etcétera.

Podemos obtener multitud de formas que se alejan de las más clásicas y teóricamente pre-fijadas. Veamos algunas (Fig. II. 30).

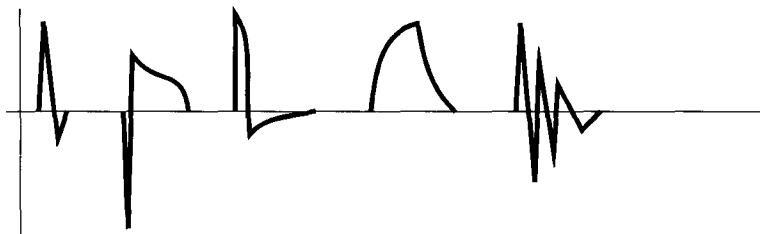


Figura II.50.

### Nota aclaratoria acerca de las formas de onda

Cuando practicamos técnicas de electroterapia en baja y media frecuencia, solemos utilizar como parámetro indicador de la energía aplicada el de la intensidad (mA), pero al dibujar las ondas, partimos de lo reflejado en las pantallas de los osciloscopios y éstos representan las ondas del voltaje (V), las cuales pueden ser muy distintas en forma y coincidencia en el tiempo con respecto a las de intensidad, pues debido a la impedancia, se puede retrasar o adelantar una (de intensidad) con relación a la otra (de voltaje), o viceversa.

Recordemos que el parámetro que realmente genera un trabajo es la potencia en vatios (W) y que es producto del voltaje por la intensidad.

Podemos estar aplicando impulsos cuya forma sea de gran amplitud en voltaje, pero la intensidad (por razones de diseño electrónico o de altos valores de impedancias) puede ser muy poca, con lo que los resultados a la hora de generar un trabajo serán mínimos. También nos podemos encontrar con situaciones donde la intensidad es alta y el voltaje bajo, circunstancia en la que tampoco se generará el trabajo deseado.

Normalmente suelen ir en proporción directa el voltaje con la intensidad, a no ser que las situaciones del circuito alteren el adecuado sincronismo entre ambos parámetros.

Podemos reflejar en los osciloscopios ambas ondas simultáneamente y apreciar cómo siempre existen desfases y formas distintas entre las dos, con lo cual la resultante en potencia siempre se verá afectada, de forma que, si la potencia refleja otra onda producto de las dos primeras, más amplia en altura y anchura, podemos garantizar buenos resultados, pero si la onda de potencia es poco amplia en anchura o en altura (o ambas proporciones a la vez), podemos asegurar que los resultados serán pobres (Fig. II. 31).

En un circuito de intensidad constante (CC) puede darse la circunstancia de que, si los electrodos se hallan en cortocircuito por un puenteo metálico, el miliamperímetro nos indique el paso de intensidad ajustado, pero el voltaje bajará prácticamente a cero por lo que la onda de potencia será casi nula. Al practicar el referido puenteo metálico, si el estimu-

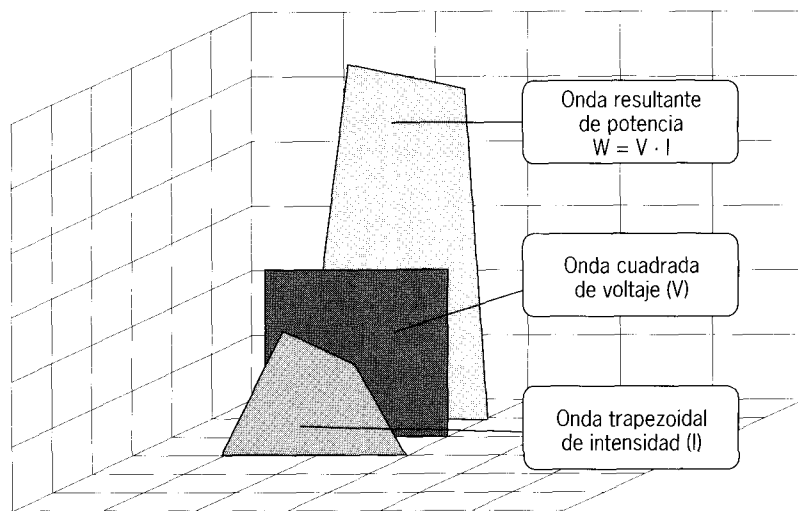


Figura II.51.

lador se ha diseñado como circuito de intensidad constante, el voltaje bajará a cero y no existirá riesgo de avería, pero si el diseño electrónico se hizo en tensión constante (VC), el puente de cortocircuito puede provocar serias averías.

Cuando hagamos investigación o intentemos entender determinados fenómenos referentes a impulsos cortos o largos, poca o mucha intensidad, nunca olvidemos estas circunstancias y pensemos en la potencia aplicada para mayor precisión.

### SISTEMA ELECTRÓNICO PARA ELECTROESTIMULADORES DE BAJA Y MEDIA FRECUENCIA

Los modernos equipos para electroestimulación deben basarse en la *electrónica computerizada*, donde los microprocesadores consiguen controlar con gran precisión multitud de parámetros rápida y eficazmente. Además, se eliminarán los sistemas de amplificación de energía con transformadores, pues estos deforman las ondas.

Desde los equipos basados en lámpara de incandescencia, pasando por los transistorizados, hasta la última generación de equipos computerizados, la evolución y cambios en las formas de corrientes son importantes. En los primeros sistemas era muy complejo y caro conseguir formas de ondas perfectas (sobre todo en tiempos cortos), cuestión bien resuelta en la actualidad.

En los viejos equipos de lámparas o transistores era muy difícil eliminar las ondas negativas que seguían a la positiva y fundamental; la referida negativa era causada por la autoinducción en el transformador de salida y la deformación de la fundamental con pico en la subida y bajada amortiguada, también por el mismo transformador de salida (Fig. II. 32). Estos equipos se basan en la descarga de un condensador (muy habitual en *Tens* y faradizadores musculares).

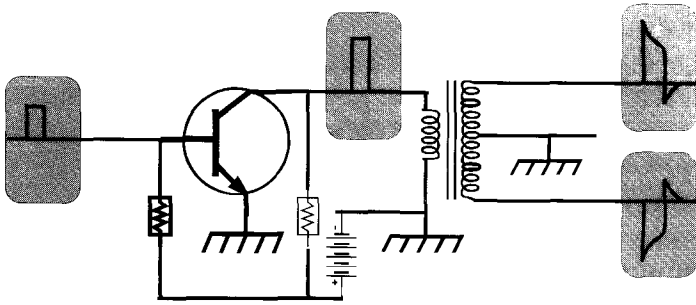


Figura II.52.

Un buen sistema debe basarse en un generador suficientemente potente en la salida (sin transformadores) como para que suministre sin problemas unos 180 V y 80 mA sobre una carga de 500 Ohm (Fig. II. 33).

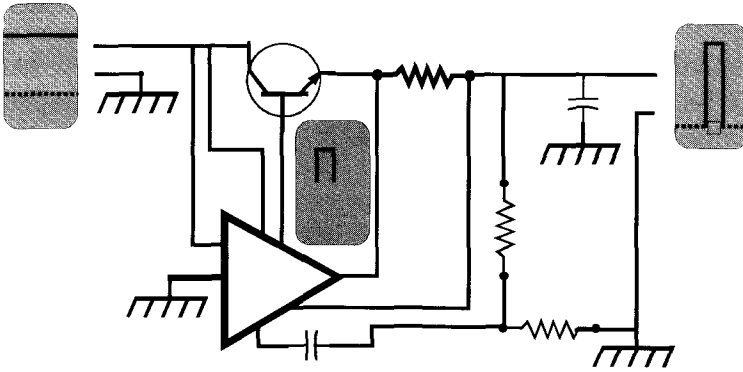


Figura II.53.

Los equipos de baja y media frecuencia basan su sistema de trabajo en disponer de un generador de galvánica en estado de corte por el transistor, el cual permite el paso únicamente durante el instante que lo activa el sistema del microprocesador, creándose así el pulso correspondiente. Esto es posible con una fase (+) o con ambas (+/-) para los pulsos bifásicos. El sistema podrá trabajar tanto en corriente constante (CC) como en tensión constante (VC).

El microprocesador controlará las formas y tiempos de onda, monofásicas o bifásicas, así como los tiempos de reposo, modulaciones, agrupaciones en trenes, etcétera.

No olvidemos que las formas de ondas frecuentemente son diferentes si los equipos trabajan en vacío de cuando lo hacen con carga, (Fig. II. 34) es decir, es distinto representar las ondas si no se ha aplicado el estimulador al paciente que cuando lo está. Si la corriente procede de equipos con transformadores, los picos añadidos por autoinducción tienden a eliminarse, pero en los que se interrumpe una galvánica, no debe deformarse salvo cuando se pretenden superar las características de diseño pidiéndole más potencia de la posible.

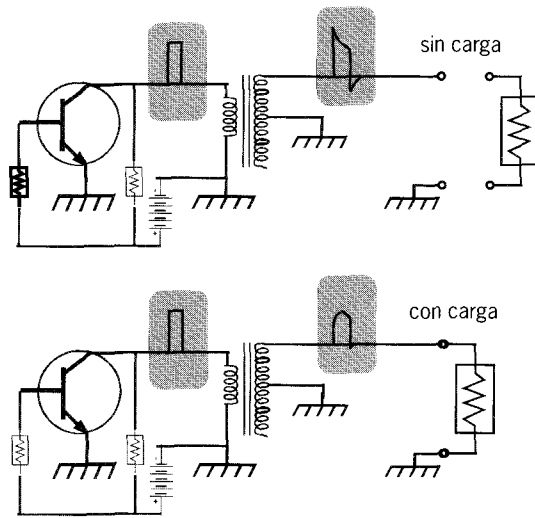


Figura II.54.

Las formas de onda más lógicas y fundamentales para conseguir la despolarización de membrana nerviosa y muscular serán: (Fig. II. 35)

- de subida progresiva;
- picos triangulares;
- cuadrangulares;
- cualquiera de ellas bifásicas (pero las bifásicas de subida progresiva desfásadas).

Las más eficaces serán las cuadrangulares, seguidas de las triangulares y de subida progresiva. «Todas las demás formas son añadidos que pueden servir».

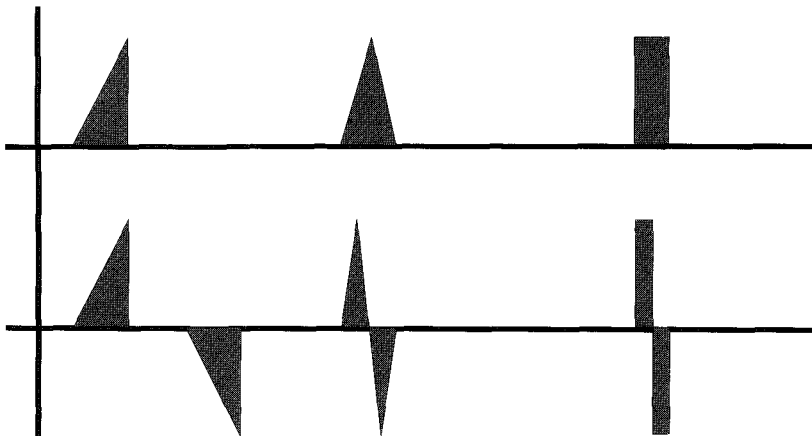


Figura II.55.

Las de subida progresiva las necesitamos para los tratamientos en los que consideremos el mecanismo de acomodación de membrana. Las triangulares son muy fáciles de conseguir, electrónicamente hablando, y mejor toleradas que las cuadrangulares. Las cuadrangulares son las que más energía aportan y mejor despolarizan la membrana. En cuanto a las bifásicas, los fabricantes deben coordinarse para homogeneizar los sistemas de tratamiento, pues es diferente la bifásica de la (Fig. II. 36 A) que en la (Fig. II. 36 B).

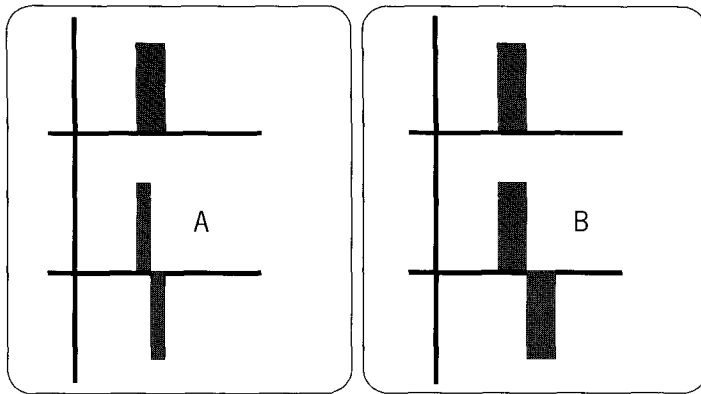


Figura II.36.

La opción (A) es la más lógica, pues la energía aplicada es la misma; sin embargo, disminuye el efecto despolarizador. Otros fabricantes (fundamentalmente con pulsos menores a 1 ms) aplican la opción (B), consiguiendo un aumento de la respuesta de despolarización, pero aunque administramos el doble de energía, se hace más soportable para el paciente (sensitivamente hablando).

También deben homogeneizar sus diseños los fabricantes en cuanto a las bifásicas consecutivas (A) o bifásicas desfasadas (B) de la (Fig. II. 37).

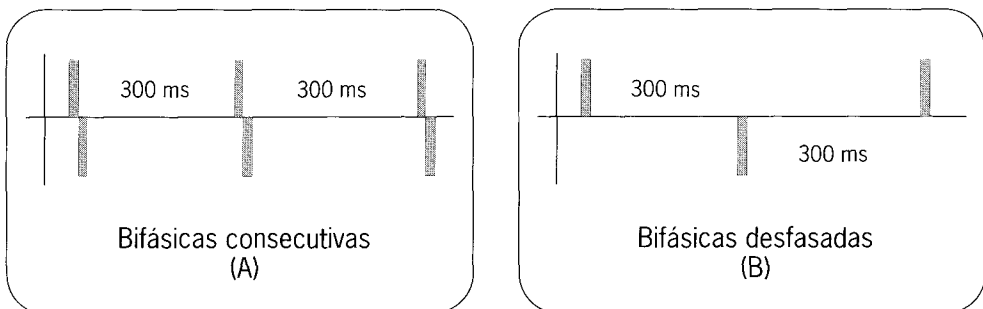


Figura II.37.

En la opción (A) ambos pulsos se comportan como único. En la (B) cada uno consigue su propio trabajo y, ante dicho trabajo motor, uno provoca mayor nivel de respuesta que el otro; para verlo a su realidad práctica, hágase el siguiente experimento:



- aplicamos dos electrodos iguales, en cuanto a tamaño de forma longitudinal, sobre un músculo o grupo muscular. Seleccionamos en el equipo pulsos bifásicos desfasados (B) de 2 ms y reposos de 300 ms. Elevamos lentamente la intensidad hasta obtener una respuesta motora vibratoria. Si observamos, apreciaremos que alternativamente entre pares e impares, unos consiguen mayor respuesta que los otros, pero si cambiamos a bifásicos consecutivos (A), todos los pulsos alcanzan la misma contracción.

Las bifásicas desfasadas (Fig. II. 37 B) son muy interesantes cuando se emplean como pulsos aislados para el tratamiento de las parálisis periféricas o denervaciones.



### CAPÍTULO III

## Aplicación de corrientes de baja y media frecuencia

Galvánica. Corrientes excitomotoras. Corrientes excitosensitivas.  
Dinámicas. Media frecuencia (interferenciales)

Aunque en este capítulo nos vamos a dedicar mayoritariamente a la forma de aplicación de las corrientes de baja frecuencia, hay que comenzar diciendo que la electroterapia en general será utilizada para conseguir los efectos fundamentales siguientes:

- *Efecto motor* o actuación sobre las fibras musculares o nerviosas motoras con corrientes de baja frecuencia o media frecuencia moduladas en baja (menos de 250 Hz).
- *Efecto sensitivo* o actuación sobre el sistema nervioso sensitivo destinado a concienciación sensitiva y analgesia mediante corrientes de baja frecuencia (menos de 1.000 Hz) o modulaciones de media.
- *Cambios químicos* o actuación sobre los componentes que forman las disoluciones orgánicas, influyendo en el metabolismo, con la corriente galvánica o interrumpidas galvánicas.
- *Efectos térmicos* o actuación sobre los tejidos de manera que, al ser circulados por la energía electromagnética, se genere calor dentro de ellos por la ley de Joule utilizando corrientes de alta frecuencia (por encima de los 500.000 Hz). La galvánica también posee propiedades térmicas.

- *Aportando energía al organismo*, situación que podemos ampliar por extensión a los puntos anteriores, pero que la reservaremos más concretamente para ese grupo de formas de la electroterapia que aportan diversidad de energía (no eléctrica) con la finalidad de alterar secundariamente procesos metabólicos, los cuales normalmente nos resolverán problemas producidos por alteraciones patológicas. Dicho grupo puede estar formado por el *láser*, *ultrasonidos*, *infrarrojos*, *baños de luz*, *luz polarizada*, *ultravioletas*, *magnetismo*, *ozonizadores* y otros que «vayan llegando».

Dicho lo anterior, los elementos fundamentales para la aplicación de los distintos tipos de corrientes de baja frecuencia son, obviamente:

- 1) El aparato;
- 2) El paciente;
- 3) El sistema de aplicación (cables y electrodos).

## El aparato

De entre los distintos aplicadores de *galvánicas*, *baja frecuencia* y *media frecuencia* se encuentran muchos y variados en cuanto a forma, cualidades, calidades, que se acomoden o no a lo normalizado, etcétera.

Lo más habitual es que estos aplicadores los encontremos ofreciéndonos las siguientes opciones:

- *aplicador de galvánica y baja frecuencia*;
- *aplicador de baja frecuencia tipo TNS para analgesia*;
- *aplicador de galvánica y diadinámicas*;
- *aplicador de media frecuencia con interferenciales* y otras destinadas al trabajo muscular y analgesia (corriente de Kotz o modulación cero).

Algunas marcas los presentan de forma que en un sólo aparato combinan o incluyen dos o más. Cuanto más avanza la microelectrónica y la informática, más completos, más complejos y de menor coste aparecen en el mercado.

Los elementos mínimos que debe presentar un aparato con cualquiera de las cuatro posibilidades, son los siguientes (Fig. III. 1):

- *cumplir con las normas de seguridad establecidas*;
- *caja protegida contra derivaciones y aislada del paciente*;
- *interruptor de encendido/apagado*;
- *piloto indicador de encendido/apagado*;
- *bornes de salida al paciente [rojo (+) y negro u otro (-)]*;
- *selector del tipo de corriente*;
- *regulador de intensidad*;

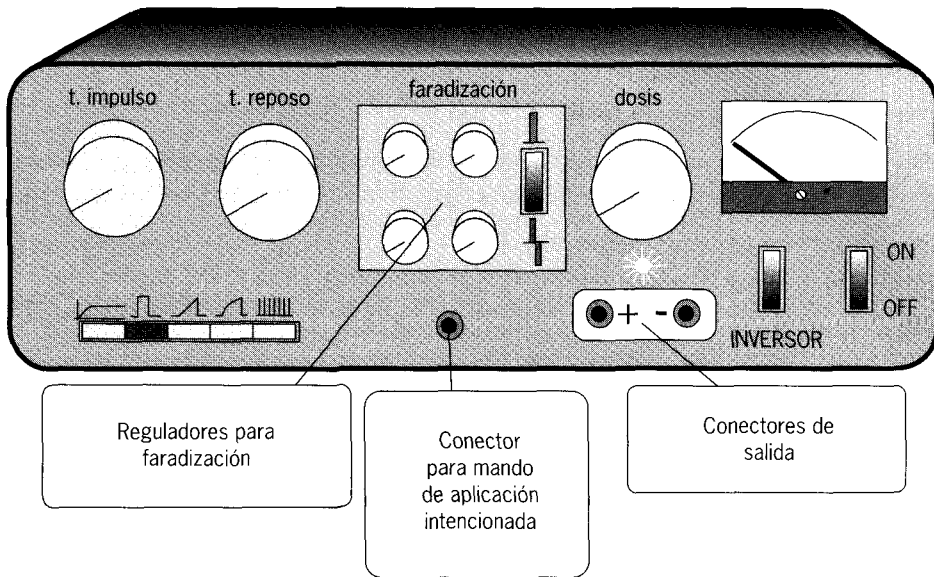


Figura III.1.

- *medidor de intensidad* (de buena calidad y eficaz);
- *inversor de polaridad* (excepto en corrientes bifásicas, media frecuencia e interferenciales);
- *mando de aplicación intencionada*.

Como queda dicho, éstas serían las características mínimas que deben poseer los aparatos, ya que en la práctica cada casa proveedora los ofrece con suplementos que «normalmente» los enriquecen.. El fisioterapeuta debe conocer la forma de trabajo del equipo para evitar posibles quemaduras al paciente, averiguando si lo hace en tensión constante o en intensidad constante, pero si el equipo dispone de ambas, el fisioterapeuta debe saber cómo y cuándo usar cada una de ellas.

## El paciente

La aplicación de las corrientes que estamos refiriendo se practica de forma transcutánea situando sobre la piel los electrodos, de los que más adelante se detallarán sus características. *¡Cuidado con el estado de la piel!*

Cada persona y su patología presentan cualidades y condiciones propias en sus reacciones ante estas corrientes, dependiendo de factores como:

- *psicológicos* (miedo o fobia a la electricidad);
- *morfológicos* (son necesarias zonas de la piel adecuadas a la aplicación);
- *experiencia del paciente* (número de sesiones que ha recibido);
- *humedad de la piel* (sudorosa, grasienta, seca);

- *estado de la piel* (rugosa, degenerada, herida);
- *pérdida de sensibilidad* (por denervaciones);
- *zona de aplicación* (grandes masas de grasa, tuberosidades óseas).

Es por lo que debemos tratar adecuadamente al paciente e introducirle en un ambiente de serenidad para que confíe en el fisioterapeuta, así como en la técnica que se le aplicará.

A todos los pacientes tenemos que explicarles claramente lo que van a experimentar, avisándoles de que en caso de sentir molestias lo comuniquen, para tomar medidas a la vez que nos narra lo que siente durante la aplicación (sobre todo en la primera sesión).

Por parte del fisioterapeuta, éste debe tener presente en todo momento las observaciones que hemos hecho sobre el estado de la zona donde se va a aplicar el tratamiento y las observaciones que nos haga el paciente de veces anteriores y de la presente, incluida una posición del paciente que sea confortable.

La *ley de oro* de este tipo de aplicaciones es como sigue:

***Nunca tienen que sentirse molestias, a la vez que la dosis es la suficiente para conseguir el efecto deseado u objetivo propuesto. Si la respuesta no es la esperada, la aplicación es fallida.***

En ocasiones es necesario sacrificar en parte el objetivo que se desea conseguir en aras de que el paciente se vaya acostumbrando, sobre todo durante las primeras sesiones.

La piel presenta una resistencia al paso de la corriente eléctrica (mucho para la galvánica y menos para las corrientes variables y alternas; menor según aumenta la frecuencia). Este fenómeno es la llamada *impedancia*, aclarando que, si nos referimos al galvanismo, la impedancia es y coincide con la resistencia óhmica.

#### IMPEDANCIA DE LA PIEL:

- *Galvánica*    alrededor de 2.000 Kohm/cm<sup>2</sup>.
- *Alterna*     1.050 Hz alrededor de 1.130 Kohm/cm<sup>2</sup>.
- *Alterna*     1.100 Hz alrededor de 1.100 Kohm/cm<sup>2</sup>.
- *Alterna*     1.000 Hz alrededor de 2.000 Ohm/cm<sup>2</sup>.
- *Alterna*     5.000 Hz alrededor de 1.010 Ohm/cm<sup>2</sup>.

Dentro de estas cifras (de valores medios y tal vez discutibles) los valores para distintos tejidos del organismo son diferentes. La resistencia o impedancia del organismo normalmente cambia con el tiempo de la sesión: tiende a disminuir.

En caso de considerar importante el conocer en un determinado momento la resistencia de los tejidos para la aplicación, en la práctica es fácil obtenerla midiendo la intensidad y el voltaje para aplicar la ley de Ohm y, matemáticamente, conseguir el resultado con precisión.

$$\text{Resistencia} = \text{Voltaje/Intensidad}$$

## Dosis

Cuando los fisioterapeutas aplicamos nuestras técnicas de electroterapia, debemos guiarnos por las dosis que consigan los objetivos propuestos.

Si tratamos de obtener respuestas sensitivas, la subjetividad del paciente será nuestro baremo (aunque podemos estar aplicando corrientes con otros efectos colaterales (digamos componente galvánico) ante los cuales debemos saber los límites indicados con medidores del equipo).

En caso de respuestas motoras, dependerá de nuestra palpación y consideración sobre el nivel de contracción muscular alcanzado (aunque también podemos quemar la piel si la corriente elegida mantiene un considerable efecto galvánico).

Cuando aplicamos alta frecuencia o termoterapia profunda, nos gustaría saber cuánta energía necesitan los tejidos para conseguir determinada cantidad de calorías que estimulen la respuesta terapéutica (todavía no está claro), pero nos vemos sometidos a multitud de variantes que pueden influir en la energía recibida por parte del paciente, tales como:

- tamaño de los electrodos;
- distancia del electrodo a los tejidos;
- resistencia de los tejidos que reciben la energía;
- potencia aplicada al electrodo o aplicador;
- porcentaje de rendimiento del electrodo;
- apreciación personal por el paciente del nivel de calor;
- respuesta del sistema neurovegetativo del paciente, etcétera.

Parámetros que nos obligan a guiarnos por el empirismo, la experiencia diaria y, *sobre todo*, por la subjetividad del paciente. No podemos olvidar el intento constante para encontrar fórmulas o sistemas que nos permitan dosificar con objetividad.

Pero, cuando aplicamos galvanismo, ultrasonidos, láser, infrarrojos, ultravioletas, iontoforesis, diadinámicas y cualquiera otra corriente que mantenga o no poder de electrólisis, tendremos que conocer con precisión la cantidad de energía:

- aplicada por el equipo y
- recibida por el paciente.

Enfocando el tema hacia la baja frecuencia, definiremos la dosis como la intensidad *proporcional a las circunstancias y parámetros* que se aplican en una sesión de tratamiento. Veamos: si hacemos pasar una corriente galvánica de 10 mA con unos electrodos de 60 cm<sup>2</sup> y esa misma corriente de 10 mA con otros electrodos de 2 cm<sup>2</sup>; en el primer caso el paciente nos comentará que nota una sensación más o menos soportable, en el segundo nos pedirá con urgencia que se lo retiremos por la fuerte sensación de picor, calambre o quemazón que siente.

En el primer caso (de 60 cm<sup>2</sup>), cada cm<sup>2</sup> recibe  $(10/60 = 0,166)$  unos 0,165 mA/cm<sup>2</sup>.

En el segundo caso (de 2 cm<sup>2</sup>), cada cm<sup>2</sup> recibirá  $(10/2 = 5)$  unos 5 mA/cm<sup>2</sup>.

Esto nos obliga a tener que buscar una *intensidad media de aplicación por unidad de superficie (dosis)* basada en que cada centímetro cuadrado de superficie corporal que recibe la corriente, soporte siempre la misma sin que influyan otros parámetros.

*Hasta ahora*, la dosis que se está aplicando para la galvánica, la mayoría de los autores la establecen entre un mínimo de  $0,05 \text{ mA/cm}^2$  y un máximo de  $1 \text{ mA/cm}^2$ . Pero, nuestra práctica habitual, basada en la experiencia repetida, nos lleva a elegir la media de:

### 0,15 mA/cm<sup>2</sup> para galvanismo

Esta cifra admite oscilaciones, ya que dependen e influyen en ella varias circunstancias, como pueden ser:

- *tiempo de duración de la sesión;*
- *la sensibilidad del paciente;*
- *grado de reacción de la piel del paciente;*
- *tipo de aparato aplicador;*
- *sistema de trabajo del equipo (tensión constante VC o intensidad constante CC);*
- *estado de humedad de la piel y humedad de electrodos (resistencia);*
- *tamaño de los electrodos (resistencia).*

Los fabricantes tienden a establecer como valor de referencia  $0,1 \text{ mA/cm}^2$ . La experiencia personal y el manejo diario nos conducirá a encontrar la cifra más idónea para cada forma de corriente y los distintos tratamientos con cada equipo de terapia, a fin de adoptar el modelo, la humedad, forma y presión de los electrodos usados, pues la resistencia opuesta entre los electrodos y el paciente influye directamente en los resultados.

A pesar de la práctica profesional y la experiencia cotidiana, en ocasiones nos encontramos ante un paciente quemado o con reacciones inesperadas al galvanismo, habiendo tomado las debidas precauciones y los miliamperios correspondientes controlados y señalados por el equipo. Algo se nos debe escapar. Tal vez la dosis no es la adecuada o la dosis debemos expresarla en otro parámetro eléctrico.

Veamos dos aplicaciones de idénticas características e igual tamaño de electrodos, pero en una los electrodos se han empapado más de agua o la goma del electrodo es de distintas propiedades en cuanto a su conductividad. Digamos que en el primer caso la resistencia es de  $5.000 \text{ Ohm}$  y en segundo de  $3.500 \text{ Ohm}$ .

En ambas aplicaciones hacemos pasar  $7 \text{ mA}$  ¿podremos asegurar que por las dos están circulando la misma cantidad de electrones? Calculemos hallando previamente el voltaje:

$$1) V = I \cdot R; \quad V = 0,007 \cdot 5.000 = 35 \text{ Voltios}$$

$$2) V = I \cdot R; \quad V = 0,007 \cdot 3500 = 24,5 \text{ Voltios}$$

Aplicar  $7 \text{ mA}$  con  $35 \text{ V}$  es distinto que aplicar los  $7 \text{ mA}$  con  $24,5 \text{ V}$ . La potencia o rapidez en inyectar la misma energía cambia: luego debemos precisar con más detalle el concepto de *dosis*.

## Precisión en la dosis

La lógica nos dice que valoremos:

- 1) la energía recibida;
- 2) durante cuánto tiempo;
- 3) en cuánta superficie;
- 4) ¿cuál o cuánta es la cantidad de energía recibida (de la que fuere) necesaria para conseguir los efectos terapéuticos justo en su medida?, es decir, ¿cuál es la expresión de la dosis adecuada?;
- 5) la potencia no siempre es la indicada, si la energía es de forma pulsada, tendremos que calcular la potencia media.

Analicemos por partes...

### 1. Energía recibida

Como acabamos de ver, cuando aplicamos o trabajamos con energía eléctrica, no podemos apoyarnos solamente en los miliamperios indicados, dado que, dependiendo de la resistencia del circuito y de los tejidos, la cantidad de energía aplicada por cada segundo puede ser muy distinta, con lo que si deseamos saber realmente la energía aplicada por unidad de tiempo, nos vemos obligados a usar la ley de Ohm para conseguir la potencia en vatios o milivatios (Fig. III. 2).

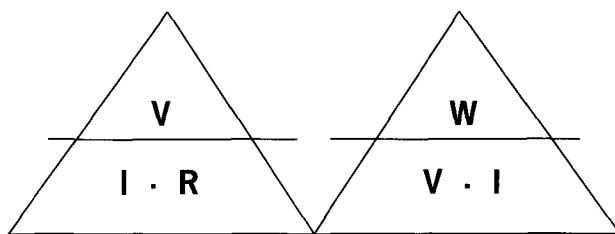


Figura III.2.

Cabe preguntarse la cantidad de electrones (o de iones en una iontoforesis) que penetrarán en los tejidos cuando apliquemos galvanismo.

Sabemos que si por un circuito transcurre en 1 segundo, 1 amperio, con una diferencia de potencial de 1 voltio, podemos afirmar que han circulado por el punto de medida 6,25 trillones de electrones (un culombio). Pero si medimos 1 amperio, con la diferencia de potencial de 5 voltios, habremos inyectado 31,3 trillones de electrones (5 culombios).

A la potencia (de salida) le aplicaremos variantes que influyen en pérdidas, tales como la resistencia de los circuitos, rendimiento del cabezal en ultrasonidos, pérdidas de las fibras ópticas en el láser, distancia de los electrodos a la piel para la alta frecuencia, etcétera.



Según esto y por el momento, debiéramos expresar la dosis en  $mW/cm^2$  en lugar de  $mA/cm^2$ , todavía sin haber considerado el tiempo de la sesión.

## 2. Tiempo de la sesión

Una vez obtenida la cantidad de energía aplicada en 1 segundo (unidad de tiempo) nos sentimos obligados a decidir el tiempo que va a ser necesario para conseguir el efecto terapéutico buscado, sin quedarnos cortos, ni pasar a efectos no deseados.

Continúa siendo habitual que nos guíe el empirismo, salvo en algunas técnicas como el *láser* que se han depurado suficientemente.

En cuanto apliquemos una cantidad de energía por segundo (potencia) durante un determinado tiempo, estamos hablando de trabajo generado por la energía eléctrica que se transformará en otra energía o en otros fenómenos físicos o químicos, expresados en julios (Fig. III. 3).

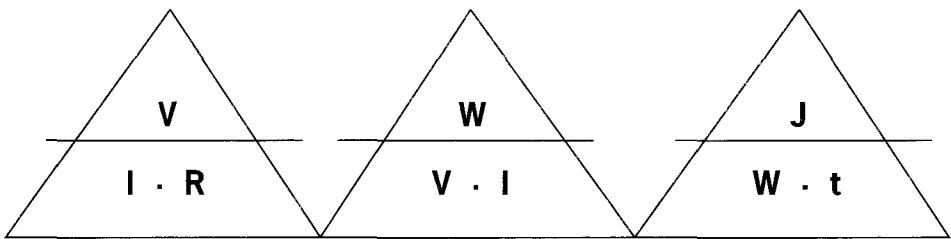


Figura III.5.

El número de julios aplicados será el valor real de la energía eléctrica, electromagnética, sonora, luminosa, magnética, etc., que después de ser aplicada, nos conseguirá los efectos buscados sin ambigüedades, polémicas, ni ambages.

## 3. Superficie de aplicación

Al aplicar galvanismo lo podemos hacer con electrodos más o menos grandes, los ultrasonidos sobre mucha o poca zona, el láser en barridos más o menos amplios.

Veamos de nuevo un ejemplo similar a otro de algunos párrafos atrás que fue usado para demostrar la influencia de la superficie en los  $mA/cm^2$  y en la necesidad de saber el voltaje además de la intensidad. Pero, ahora, lo utilizaremos para intentar llegar al concepto de *dosis verdadera*, con precisión más ajustada, expresado en  $J/cm^2$ .

Supongamos que aplicamos dos iontoforesis y que al cabo de ambas sesiones han recibido 100 Julios (J) cada una, en el mismo tiempo de sesión, pero una con electrodos de  $100\text{ cm}^2$ , mientras que en la segunda los electrodos fueron de  $5\text{ cm}^2$ . Cuando levantemos los electrodos, ¿tendrá la piel el mismo aspecto?, ¿los efectos metabólicos serán los mismos en cada aplicación?

La lógica y la experiencia nos indican que, de alguna manera, consideraremos la superficie de aplicación, así como decidir los julios que deseamos sean recibidos (por igual en cada caso) se realice con electrodos grandes o con pequeños.

En este momento decidiremos que cada  $\text{cm}^2$  reciba un determinado número de julios de luz, de energía cinética, de energía térmica, etc., o, lo que es lo mismo, decidiremos la *dosis verdadera* e integraremos en la fórmula *base* del trabajo la dosis o densidad de energía por cada  $\text{cm}^2$  (Fig. III. 4).

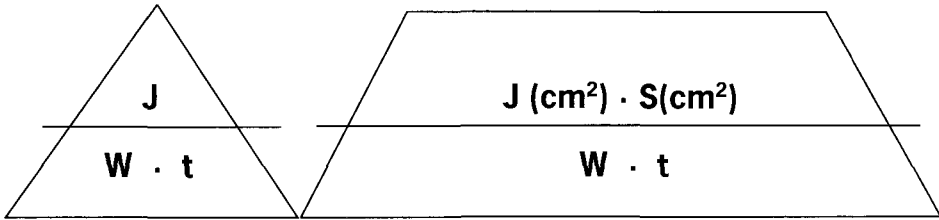


Figura III.4.

Para integrar la dosis en la fórmula base, lo haremos sustituyendo alguna de sus variables por otra expresión matemática equivalente. Elegiremos los julios (J) totales, dado que éstos son el producto de potencia por tiempo y también de los julios recibidos en cada  $\text{cm}^2$  por los centímetros cuadrados de aplicación. Luego las siguientes expresiones son idénticas (Fig. III. 4).

Resolvamos estos ejemplos:

¿Cuántos (J) se han *inyectado* en una superficie de  $80 \text{ cm}^2$  si en cada  $\text{cm}^2$  se han recibido 2 (J)?

$$2 \text{ (J/cm}^2\text{)} \cdot 80 \text{ (cm}^2\text{)} = 160 \text{ J (totales)}$$

Otro problema: ante un caso real de aplicación (pongamos de láser), nos vienen dadas las siguientes variables:

- $W = 2$
- $S \text{ (cm}^2\text{)} = 50$
- dosis o  $\text{(J/cm}^2\text{)} = 4$
- tiempo = X

La única incógnita que nos resta por averiguar es el tiempo de la sesión; aislamos la expresión tiempo y nos queda:

$$t = \frac{J \text{ (cm}^2\text{)} \cdot S \text{ (cm}^2\text{)}}{W} = \frac{4 \cdot 50}{2} = 100 \text{ sg}$$

En las condiciones señaladas, el equipo estará en funcionamiento durante 100 sg.

#### 4. Dosis o densidad de energía

La dosis o julios recibidos por cada centímetro cuadrado dependerá siempre de la investigación y de las conclusiones a que lleguemos por la fisiología y conocimiento de las distintas energías aplicadas.

Este punto es el más confuso, el más inmaduro y el reto más inmediato que tenemos los fisioterapeutas para trabajar con precisión y eficacia, buscando el objetivo de irnos apartando del empirismo personal e individual o del «ojo de buen cubero».

¿Qué día podremos responder a las siguientes preguntas?:

- ¿Cuál es la dosis en ( $J/cm^2$ ) de corriente galvánica para una iontoforesis? Aunque para cálculos electroquímicos se utiliza la ley de Faraday.
- ¿Cuál es la dosis en ( $J/cm^2$ ) de ultrasonidos recibidos para obtener unos buenos efectos terapéuticos?
- ¿Cuál es la dosis en ( $J/cm^2$ ) de LÁSER para determinados efectos terapéuticos? Ya están resueltos, aunque todavía sometidos a cierto nivel de polémica.
- ¿Cuál es la dosis en ( $J/cm^2$ ) de corriente galvánica para producir una coagulación anódica de tejidos (quemadura)? Ya está contestado.

Y, de esta guisa, nos quedan bastantes dudas por resolver.

#### 5. Potencia media

En multitud de ocasiones tenemos que añadir otra variante a los cálculos anteriores, consistente en que las energías que aplicamos en gran número de veces, lo serán de forma pulsante o en ráfagas (Fig. III. 5). Esto nos obliga a calcular la potencia media que siempre resultará menor que la alcanzada por los pulsos, dado que entre cada pulso existe un reposo o (parada en la aplicación) que le resta eficacia.

Entonces, siempre que usemos en las fórmulas las expresiones potencia (W) o miliamperios (mA) y estemos haciendo una aplicación pulsátil, previamente tendremos que hallar la potencia media o eficaz. Si no lo hiciéramos así, incurriríamos en un serio error.

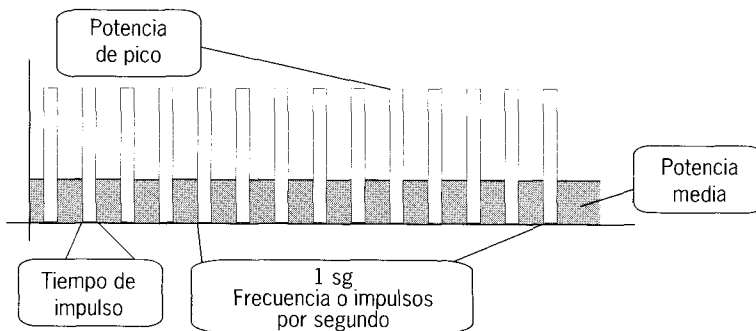


Figura III.5.

La fórmula para obtener dicha potencia media será:

$$W_{(m)} = W_{(p)} \cdot T_{(imp)} \cdot F_{(Hz)}$$

El tiempo de impulso en segundos y la frecuencia en hercios.

Veamos un ejemplo:

¿Cuál será la intensidad media (o componente de galvánica) de una corriente formada por impulsos cuadrangulares de 2 ms, cuya intensidad de pico es de 150 mA y frecuencia de 80 Hz?

$$I_{(m)} = 150 \cdot 0,002 \cdot 80 = 24 \text{ mA reales o eficaces}$$

Dado que cuando usamos impulsos en electroterapia de baja frecuencia, éstos tienen las formas fundamentales de *cuadrangulares*, *triangulares* y *sinusoidales*; detengámonos en calcular la potencia media dependiendo de la forma de los impulsos empleados (Fig. III. 6).

La fórmula de potencia o intensidad media definitiva quedará:

$$W \text{ (media)} = W \text{ (pico)} \cdot F \text{ (Hz)} \cdot t \text{ (impulso en sg)} \cdot \text{factor de impulso}$$

Consideraremos el factor de impulso de 1 para pulsos cuadrangulares, de 1/2 para triangulares y de 2/3 para sinusoidales.

El factor de impulso en alta frecuencia se suele despreciar o ya va aplicado en la potencia de pico informada por el fabricante.

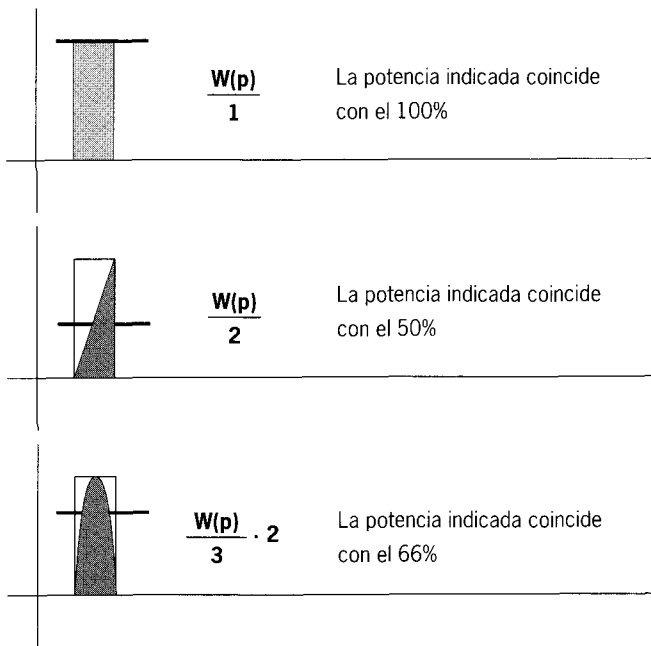


Figura III.6.

Como lo habitual y la práctica cotidiana nos hace trabajar con la intensidad en lugar de potencia, seguiremos utilizando el concepto de dosis en mA/cm<sup>2</sup>. Dejaremos el concepto de dosis en J/cm<sup>2</sup> como hipótesis de trabajo y futuras investigaciones con la esperanza de haber sembrado la suficiente inquietud investigadora.

Luego, si partimos de una dosis media para el galvanismo de 0,15 mA/cm<sup>2</sup>, cuando apliquemos corrientes interrumpidas galvánicas, para mantener la misma intensidad media, tendremos que aumentar bastante la intensidad de pico.

De hecho, cuando se aplican interrumpidas galvánicas nos despreocupamos de la intensidad media debido a que los efectos de estimulación motora o sensitiva esperados por estas corrientes se consiguen normalmente antes de alcanzar los 0,15 mA/cm<sup>2</sup> de intensidad media. En caso de tratamientos en los que es necesaria mucha intensidad para conseguir los objetivos propuestos, es conveniente controlar y calcular la dosis media para evitar daños o encontrar errores en la aplicación.

¿Corremos el riesgo de quemadura galvánica con la corriente de Trabert bajo un electrodo de 10 cm<sup>2</sup> y una intensidad de 20 mA?

Primero veamos qué intensidad corresponde a cada cm<sup>2</sup>:

$$20 \text{ mA}/10 \text{ cm}^2 = 2 \text{ mA}/\text{cm}^2; \text{ bastante por encima de } 0,15 \text{ mA}/\text{cm}^2$$

Pero la intensidad en este caso depende de impulsos, reposos y frecuencias, por lo que aplicaremos la fórmula de intensidad media según los datos reflejados en la (Fig. III. 7).

$$I (m) = 20 \text{ mA} \cdot 0,002 \text{ sg} \cdot 142 \text{ Hz} = 5,68 \text{ mA}$$

$$\frac{5,68 \text{ mA en todo el electrodo}}{10 \text{ cm}^2 \text{ del electrodo}} = 0,568 \text{ mA}/\text{cm}^2$$

Concluimos con que 0,56 mA/cm<sup>2</sup> es más alto que 0,15 mA/cm<sup>2</sup>, con lo cual, si esta corriente es aplicada durante un buen rato en las condiciones referidas, cuando menos, irritaremos bastante la piel, si es que no la quemamos.

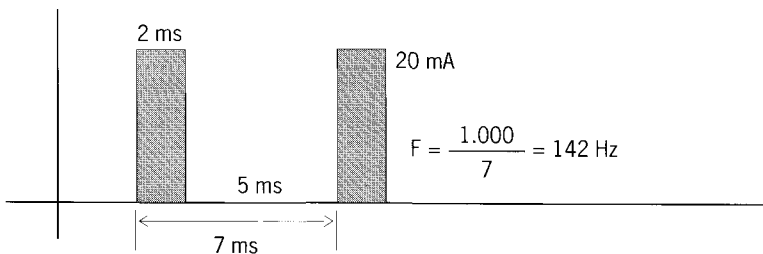


Figura III.7.

## El sistema de aplicación

La conexión entre el aparato productor de corrientes y el enfermo se realiza por unos simples cables (de buena calidad) que se insertan en los conectores de salida del aparato por un extremo, mientras que por el otro suelen terminar en una pinza de cocodrilo u otra

banana o conector aéreo destinado a un terminal solidario con la parte más conductora del electrodo (Fig. III. 8).

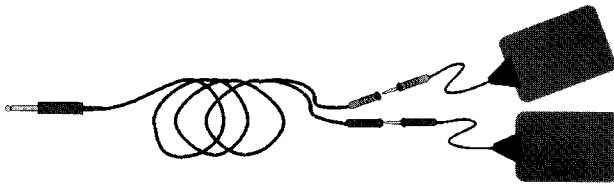


Figura III.8.

El *electrodo* está formado por una parte conductora: plomo, latón, estaño, goma semiconductor y una capa envolvente de esponja natural, espontex, gasas, gamuza o un paño humedecido que envuelve al metal para impedir que la parte metálica entre en contacto directo con la piel, a fin de evitar quemaduras químicas. Es decir: la parte de almohadilla humedecida aumenta la resistencia y regulariza el apoyo, suavizando el paso de la corriente con el fin de reducir al mínimo *irritaciones*, el *efecto punta* y el *efecto borde* (Fig. III. 9 y 15).

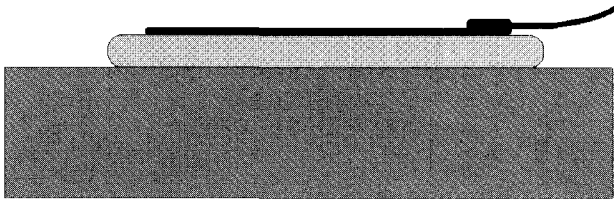


Figura III.9.

La parte conductora del electrodo debe ser recortada sin dobleces en su superficie, más pequeña y redondeada que la parte de almohadilla, para garantizar que la placa quede bien envuelta y no toque en ningún punto y momento la piel.

El *efecto punta* y el *efecto borde* consisten en que los electrones circulantes por un conductor, en este caso una placa, tienden a acumularse en las superficies, más en los bordes y aún más en las puntas o esquinas. Lo cual significaría que si un electrodo con una esquina muy marcada (fig. III. 10 B) se pone en contacto con la piel (o se reduce mucho su resistencia), por ese punto pasarían más electrones que por otras zonas con el consiguiente riesgo de producir una quemadura de tipo *electroquímico*. Por tal motivo, se deben recortar dejando las esquinas redondeadas y los bordes bien rematados, junto con la precaución de evitar que adquieran rugosidades o dobleces por el uso (Fig. III. 10 A).

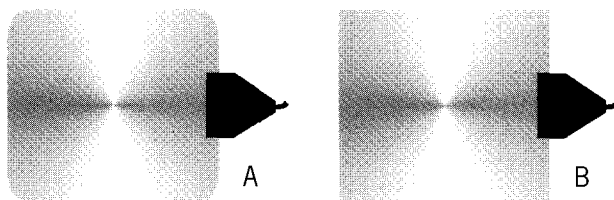


Figura III.10.

Los cables de aplicación deben ser uno de color rojo, siempre (+) y el otro negro (-), aunque no es trascendental, ya que el aparato posee un interruptor de cambio de polaridad. Sí es importante seguir el trayecto del cable desde su salida hasta su electrodo correspondiente (contando con la polaridad marcada por el interruptor de inversión). Para que esto se pueda realizar con facilidad, trataremos de que en todo momento los cables *no tengan enredos*.

La aplicación se puede realizar de tres formas básicas (Fig. III. 11):

- *aplicación manual*, colocando y manteniendo el electrodo el fisioterapeuta sobre el punto deseado (situación frecuente en las parálisis faciales);
- *aplicación de electrodos fijos* con gomas, ventosas, electrodos adhesivos o cintas que los mantienen en el mismo lugar durante la sesión (la más habitual);
- *aplicación intencionada*, según la cual, una vez los electrodos quedan fijos con gomas, el paciente controla con un mando la aplicación del impulso y la pausa que considere más adecuados (dicho mando puede ser controlado indistintamente por el fisioterapeuta o por el paciente).

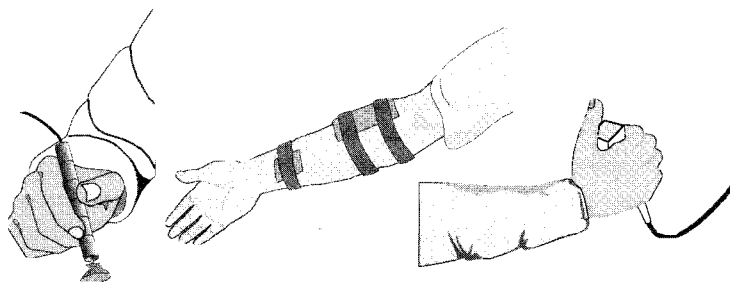


Figura III.11.

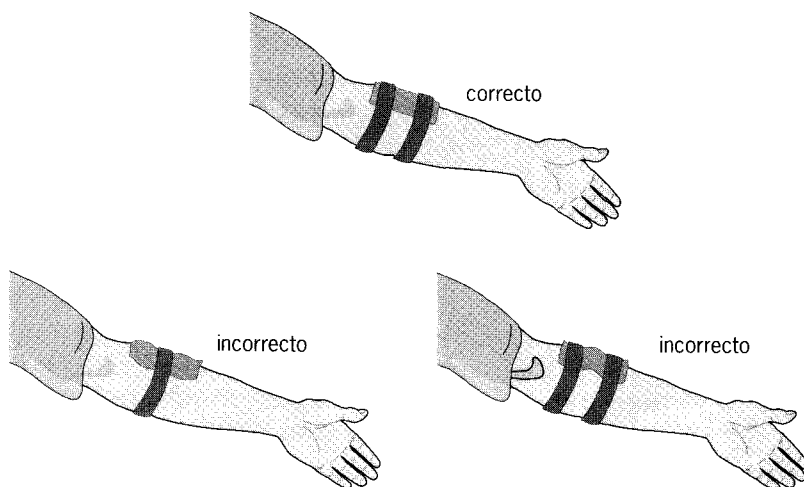


Figura III.12.

Los *electrodos* tienen que aplicarse de forma que no aparezcan zonas excesivamente comprimidas contra la piel, mientras otras, están semidespegadas, lo que puede producir sensaciones de quemazón y de picores molestos. No sólo sensación, tal vez, quemaduras bajo las zonas de presión acentuada (Fig. III. 12).

Cuando en *media frecuencia* o *equipos trabajando en tensión constante* hacemos tratamientos con ventosas de succión alternativa, queda demostrado que, cuanto mayor es la presión entre el electrodo y la piel, la resistencia eléctrica es reducida y la intensidad, señalada por la pantalla indicadora, aumenta; si la observamos, podemos apreciar las oscilaciones al mismo ritmo que las alternancias en la succión.

El *tamaño* de los electrodos debe ser elegido de acuerdo a los criterios de los efectos que se quieran conseguir, el tipo de corriente y la zona en que van a ser aplicados.

Normalmente se emplearán dos electrodos, de manera que uno haga de activo (más pequeño) donde se concentrarán más los efectos de la corriente y el otro electrodo será el pasivo o masa (más grande). En otras ocasiones, las exigencias de la técnica de tratamiento nos obligarán a hacerlo con dos electrodos iguales en tamaño (Fig. III. 13).

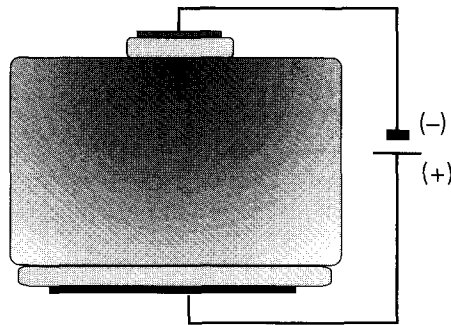


Figura III.15.

En general, tendremos preparados una variedad de tamaños de acuerdo con las exigencias de la práctica cotidiana. Una posible gama de tamaños podría estar compuesta de:

TABLA III. 1

Número de electrodos	Dimensiones	Superficie efectiva (cm <sup>2</sup> )	Intensidad media para galvanismo (0,15 mA/cm <sup>2</sup> )
1	2 · 2	3 cm <sup>2</sup>	0,45 mA
2	4 · 4	15 cm <sup>2</sup>	2 mA
2	4 · 8	30 cm <sup>2</sup>	4,5 mA
2	8 · 8	60 cm <sup>2</sup>	9 mA
2	8 · 16	120 cm <sup>2</sup>	18 mA
2	16 · 16	240 cm <sup>2</sup>	35 mA



No podemos olvidar el electrodo de aplicación manual o puntual (Fig. III. 14), que suele ser un dispositivo en forma de mango. En su extremo posee un electrodo, normalmente pequeño, ya que se destina a la aplicación en puntos motores o zonas localizadas. Se suministran con los electroestimuladores en número de dos o tres de distinto tamaño.

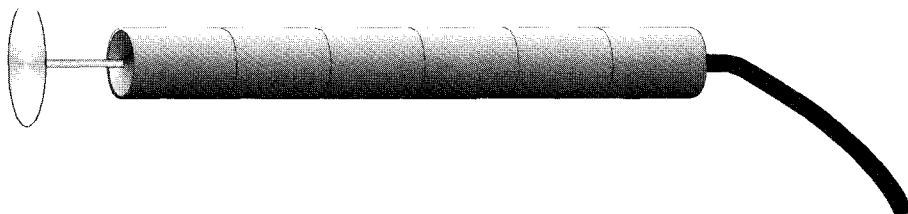


Figura III.14.

Si los electrodos van a ser utilizados para corrientes *interferenciales* o *media frecuencia tetrapolar*, en lugar de parejas, necesitaremos cuatro electrodos.

Los electrodos adhesivos solucionan muchos problemas con facilidad y rapidez en corrientes destinadas al estímulo sensitivo, pero presentan algunas dificultades para respuestas motoras intensas y corrientes con componente galvánico.

Para provocar respuestas motoras intensas es conveniente que el electrodo quede algo enterrado en el tejido celular subcutáneo, de manera que se acerque al músculo lo más posible reduciendo al mínimo el grosor de piel y tejido celular subcutáneo. Los electrodos adhesivos no consiguen esta aproximación por sí solos, a no ser que se les reafirme con su correspondiente banda elástica.

Para mejorar la precisión y eficacia en nuestros tratamientos, es recomendable tener siempre a mano material para diseñar y construir electrodos de acuerdo con las circunstancias de cada paciente. Para ello, con disponer de tijeras, plancha de goma conductora y espóntex es suficiente.

Una forma rápida de construir un electrodo puede consistir en (Fig. III. 15):

- 1) cortar un cuadrado de espóntex o gamuza cuatro veces mayor al tamaño deseado para el electrodo;
- 2) se le practican dos dobleces para aumentar el grosor del almohadillado y
- 3) se le coloca el electrodo recortado (con las puntas redondeadas y más pequeño que la gamuza) dejando tres capas para el paciente y una para el exterior.

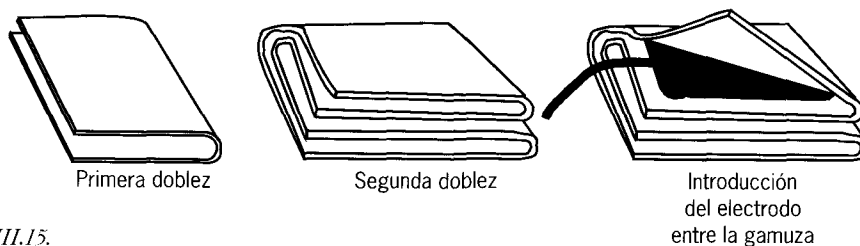


Figura III.15.

Sobre las intensidades medias sugeridas en la tabla III. 1, tenemos que detenernos con el fin de hacer algunas aclaraciones:

- 1) como antes se dijo, cada cual debe hallar las más adecuadas para sí mismo, teniendo en consideración los medios con los que cuenta;
- 2) una vez encontrada la intensidad adecuada por cada centímetro cuadrado (dosis) nos servirá como punto de partida, pero la definitiva vendrá dada por las circunstancias personales del paciente y del método, aplicando aquella dictada por los objetivos propuestos en ese momento;
- 3) no se cumple exactamente la ley de *multiplicar la dosis por el número de cm<sup>2</sup> del electrodo*, ya que en la práctica cuanto mayor es el electrodo, la intensidad soportada por el paciente va sufriendo una tendencia inversa con el aumento de su superficie, debido a la disminución de la resistencia con el aumento de la superficie (véase epígrafe **3. Superficie de aplicación**). Por otra parte, ante corrientes sensitivas y motoras, cuanto mayor es la zona irritada, más cantidad de impulsos irritativos tiene que soportar el nervio que inerva la zona. El coeficiente adecuado de disminución para obtener la progresión de intensidad, según aumenta el tamaño del electrodo en corrientes sensitivas y motoras, viene dado por la subjetividad del paciente;
- 4) siempre que se tome en consideración esta *cifra media o dosis*, se hará con relación al electrodo más pequeño del par utilizado.

### Colocación de los electrodos

A la hora de aplicar los electrodos, se decidirá si hacerlo de forma *monopolar*, *bipolar* o *contralateral* (Fig. III. 16):

Si es monopolar, el electrodo activo será bastante más pequeño que el electrodo masa y se colocará sobre el mejor punto motor muscular o nervioso (coincidiendo con la pla-

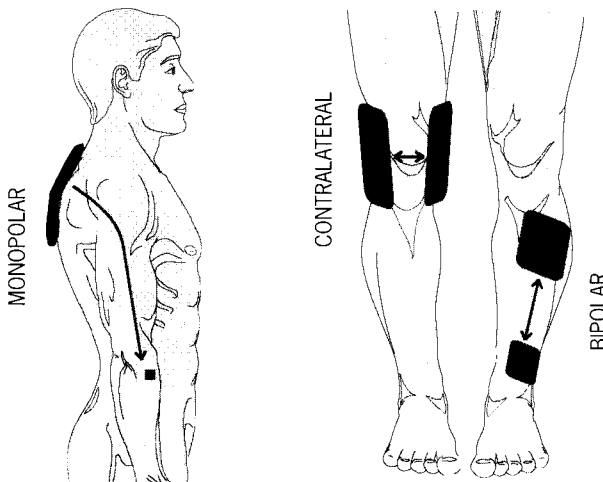


Figura III.16.

ca motora o una zona de acercamiento a la superficie en los nervios respectivamente). Además, el electrodo activo será normalmente el (-) y se colocará distal para conseguir los mejores resultados excitomotores o excitosensitivos.

Para la aplicación bipolar (sendos electrodos en el origen y final de su masa muscular) normalmente los electrodos son semejantes en tamaño, aunque el electrodo activo puede ser más pequeño que el neutro (el neutro en este caso pierde su importancia como masa y se puede comportar también como activo). La respuesta será más efectiva al colocar el activo como distal, si es negativo y si es más pequeño. Es conveniente intentar un cambio de polaridad, por si los resultados son mejores debido a que, cuando el electrodo proximal es negativo, las contracciones pueden resultar más selectivas o que pueda implicarse una rama nerviosa que consiga mayor eficacia motora.

La aplicación contralateral se usará más para el galvanismo, iontoforesis o efectos sensitivos, pero en determinadas ocasiones es factible emplearla para respuesta motora, aunque ésta será menos precisa y poco selectiva. Los electrodos pueden tener igual tamaño, pero si deseamos que uno actúe como activo, éste será el menor.

Resumiendo estos párrafos y ante aplicaciones de respuesta sensitiva y motora, estableceremos *tres pautas*:

- 1) a electrodos del mismo tamaño, tiene mejor respuesta el (-);
- 2) a electrodos de distinto tamaño, manifiesta respuesta más selectiva el más pequeño;
- 3) en aplicación longitudinal, se consigue mejor respuesta si el distal es (-) y el proximal es (+). A no ser que la despolarización de la raíz nerviosa provoque mejor contracción que la directa sobre el músculo.

Toda aplicación que cumpla simultáneamente las tres pautas dará resultados buenos, reforzándose entre sí. Pero las aplicaciones en las que alguna de las tres pautas se invierta, restará eficacia a los resultados con respuestas más difíciles. Esta norma general suele romperse cuando tratamos denervaciones (véase capítulo X).

Cada vez se emplea más la modalidad bipolar múltiple de varios circuitos o canales en distintos músculos de grupos musculares sinergistas, fundamentalmente buscando efectos de potenciación y, a la vez, disponer de estimuladores de varias salidas con controles de intensidad independientes (Fig. III. 17).

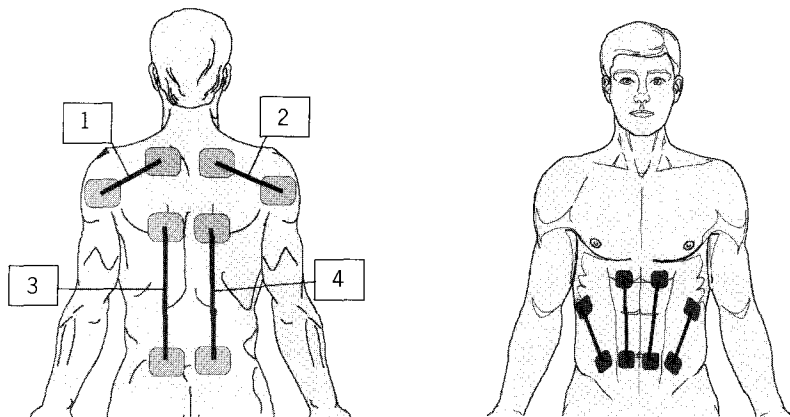


Figura III.17.

## Influencia de la forma de onda

Para conseguir las mejores respuestas motoras y sensitivas mediante la aplicación de corrientes pulsadas, es importante elegir la forma de onda, pues con parámetros iguales en tiempo de pulso y frecuencia, los pulsos triangulares requieren mayor intensidad que los cuadrangulares. Los cuadrangulares bifásicos (Fig. III. 18) dependen de que el fabricante haga que la suma del (+ y -) sea igual que el monofásico, o que añada otro pulso (-) al (+) sumando el tiempo de ambos. En este segundo caso será mucho más eficaz.

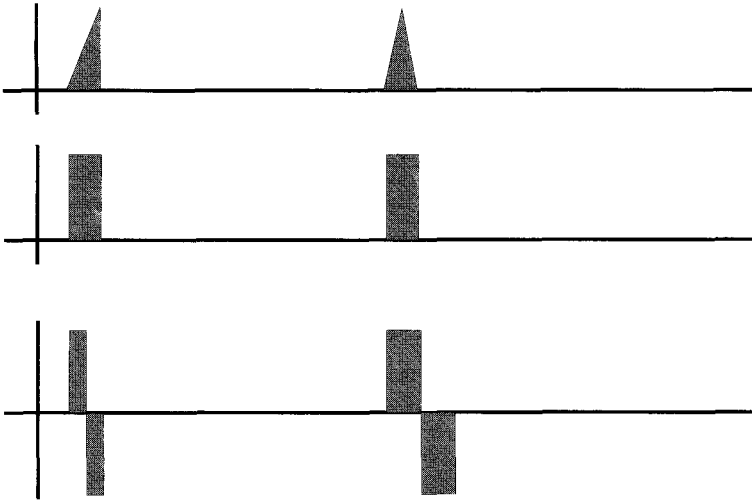


Figura III.18.

## Protocolo para aplicar electroterapia

En general, ante las aplicaciones de electroterapia: galvanismo, baja frecuencia, media, alta y otras variantes como láser o ultrasonidos, se debe seguir un protocolo de actuación que en algún punto de los marcados se puede ignorar, o, tal vez, haya que añadir nuevos puntos para adaptarse a las necesidades y requerimientos de cada corriente usada.

### PROTOCOLO

- 1) Marcarse mentalmente el *objetivo a conseguir*.
- 2) Establecer (teóricamente al menos) la *mejor técnica* posible para alcanzarlo.
- 3) *Colocar al paciente* adecuadamente según la técnica decidida.
- 4) Cuidar y vigilar las posibles *derivaciones eléctricas* entre el paciente y tierra u otros aparatos eléctricos próximos.
- 5) *Descubrir la zona tratada* evitando compresiones o estrangulamientos con las prendas replegadas.

- 6) *Explicar al paciente* lo proyectado y advertirle de las sensaciones, evitando dolores o molestias.
- 7) Disponer y preparar los *electrodos adecuados*.
- 8) Disponer o *programar el equipo* de acuerdo a lo proyectado.
- 9) Fijar y *aplicar los electrodos* adecuadamente.
- 10) Subir la intensidad o potencia *adecuada y lentamente*.
- 11) *Palpar, observar, preguntar y comprobar* sobre la respuesta deseada y si se cumple el objetivo proyectado.
- 12) (Si es necesario) *buscar mejores respuestas* variando los parámetros de la corriente.
- 13) *Evitar molestias o dolores* al paciente y posibles *riesgos de quemadura*.
- 14) Si la aplicación *no cumple los objetivos* es fallida y *no se debe practicar*.
- 15) *Marcar tiempo de la sesión*.
- 16) *Estar pendiente de la evolución* a lo largo de la sesión y comentar al paciente que avise si nota sensaciones extrañas o molestas.
- 17) *Desconectar lentamente* e interrogar al paciente sobre la evolución de la sesión.
- 18) *Tener en cuenta evolución y datos* aportados por nuestra observación directa y comentarios del paciente.
- 19) *Tomar notas* de los cambios, incidencias y variaciones en la evolución o en los parámetros de la corriente.
- 20) *Retirar el tratamiento al conseguir los objetivos* marcados.

## Consideraciones para evitar quemaduras en los pacientes

A lo largo de la obra se insiste en las medidas que es necesario establecer para evitar quemaduras en los pacientes y se detallan, pero, a modo de concreción, deberemos tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- 1) Considerar el tipo de corriente que vamos a aplicar. Las alternas o bifásicas no requieren tantos cuidados como las interrumpidas galvánicas.
- 2) Saber si el equipo trabaja en voltaje constante (VC) o en corriente constante (CC). Usando corrientes interrumpidas galvánicas, debemos activar el modo CC.
- 3) Examinar el estado de la piel en la que se van a fijar los electrodos. Buscar siempre una porción de piel sana y sin lesiones, excoriaciones, cicatrices, granos, depilación reciente, etcétera.
- 4) Comprobar que los electrodos que se van a utilizar se encuentran en correcto estado, tanto en el elemento conductor como en la gamuza o adhesivo de contacto.
- 5) Correcta fijación de los electrodos. El cinchado o adhesión de los electrodos no debe ser ni excesivo ni muy flojo; tampoco muy prieto en una zona, quedando otra sin contacto.

- 6) Hallar el porcentaje del componente galvánico de la corriente que se va a utilizar, siempre que apliquemos corrientes interrumpidas galvánicas con importante efecto galvánico. Véase, en el capítulo V, el epígrafe *Quemaduras con interrumpidas galvánicas*.
- 7) Medir la superficie tratada. En caso de usar electrodos de contacto, medir la gamuza del electrodo pequeño.
- 8) Calcular la intensidad máxima de seguridad que debemos aplicar al paciente. Véase, en el capítulo V, el epígrafe *Quemaduras con interrumpidas galvánicas*.
- 9) Ajustar la potencia adecuada: aplicable en ultrasonidos, microonda, onda corta, infrarrojos, láser, galvanismo, etcétera.
- 10) Dosificar correctamente: una dosis escasa no alcanza las respuestas terapéuticas, pero la dosis excesiva daña los tejidos tratados.

### **Puntos motores monopolares nerviosos y musculares**

Para conseguir la mejor respuesta de contracción para exploración o tratamiento, tenemos que buscar (con un electrodo puntual Fig. III. 14) sobre la zona que consideremos lógica, la cual suele coincidir con el punto o placa de inervación.

Circunstancialmente, debido a cambios en la impedancia o resistencia de los tejidos, cada paciente responde en distintos lugares de localización, por lo que nos vemos obligados a buscar siempre el mejor punto para cada caso.

No es adecuado pensar que cada músculo posee un único punto motor, pues en ocasiones son varios. Por otra parte, cada grupo de fascículos responde por separado con relación a otros fascículos vecinos, siempre que el electrodo se sitúe sobre los deseados. A la hora de explorar o de tratar, necesitaremos hacerlo sobre zonas determinadas del músculo, en lugar de cubrir todo el músculo. Por ello se vuelve a reiterar la necesidad de localizar puntos precisos y concretos.

Si nos hallamos en zonas donde los músculos son pequeños y el electrodo grande, normalmente responderán varios músculos o el grupo muscular. En caso de buscar respuesta aislada, necesitaremos un electrodo puntual o muy pequeño además de localización precisa de su mejor punto motor.

El electrodo pequeño es más selectivo, pero necesita mayor intensidad para conseguir la misma respuesta que otro grande. El grande se soporta mejor y consigue mayor eficacia en el trabajo, pero es muy difuso, incluso puede desencadenar la respuesta de los antagonistas.

Ante situaciones de denervaciones severas, conviene que los electrodos sean grandes por causa de las importantes intensidades requeridas. Si utilizamos electrodos pequeños con intensidades muy altas nos arriesgamos a generar alteraciones o quemaduras en la piel.

Queda explicado más atrás que el electrodo activo debe ser el (-) negativo, pero conviene acostumbrarse a comparar y probar niveles de respuesta con un cambio de polaridad, pues, en ocasiones, se consigue mejor respuesta cuando se estimula el plexo o nervio que cuando se aplica directamente sobre el músculo. Normalmente observaremos que en la mayoría de los casos el activo será el (-) a la vez que distal.

Es importante disponer de material para construir sobre la marcha electrodos (Fig. III. 15), pues podemos necesitar un electrodo alargado, o muy pequeños o de contorno especial, etc. Es necesario trabajar siempre sobre la realidad de cada caso y huir de los protocolos demasiado estandarizados, pues estos contribuirán lentamente al olvido de las mejores formas y técnicas.

En la figura III. 19 se ven los puntos motores de la cara posterior del miembro superior, destacando dos puntos nerviosos que pueden ser utilizados como puntos motores activos

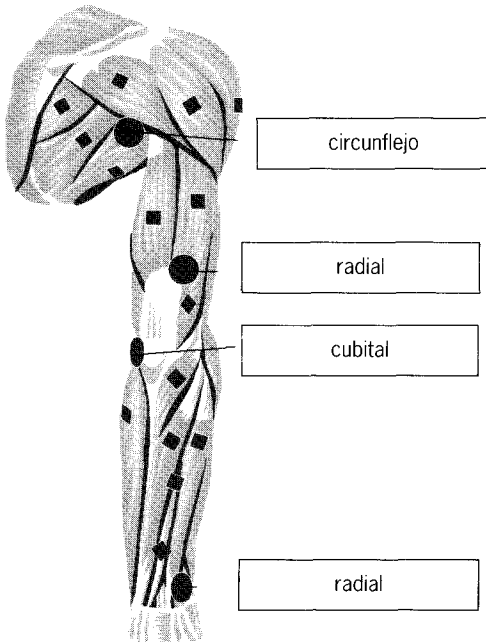


Figura III.19.

para contraer todos los músculos inervados por el cubital en el codo y por el radial en la zona posteroexterna de muñeca. Asimismo, estos puntos nerviosos serán la referencia como zona de colocación del electrodo masa y el activo más pequeño en los distintos puntos motores musculares distales al electrodo masa.

Si los músculos del antebrazo se desean trabajar con un electrodo masa en el origen del plexo y el activo en el correspondiente punto motor, generalmente también responden los del brazo por implicar en el estímulo eléctrico a todo el plexo. Para evitarlo, el electrodo masa debe situarse en el codo. La forma de trabajo más frecuente en el antebrazo es la bipolar (Fig. III. 20), situando un electrodo en el extremo proximal del músculo y el otro en el extremo distal, normalmente el (+) proximal y el (-) distal.

Si la resistencia de los electrodos es baja, no tiene mayor importancia siempre que el equipo de aplicación trabaje en intensidad constante (CC). Pero, si el electrodo muestra una pequeña zona de menor resistencia con relación al resto, aparecerá el peligro de provocar quemadura en el punto concreto del deterioro o mal apoyo, a pesar de estar trabajando en intensidad constante. (Las interferenciales y media frecuencia en general, normalmente trabajan en tensión constante [VC], por que, es conveniente tomar las debidas precauciones a pesar del poco riesgo de estas corrientes).

*En las figuras anatómicas, las superficies negras cuadradas representan los puntos motores musculares, mientras que los círculos reflejan algunos puntos motores nerviosos.*

El tríceps presenta varias zonas de respuesta, siendo más interesante enfocar este músculo como zona de estimulación selectiva de los distintos fascículos en lugar de estimular un único y mejor punto motor.

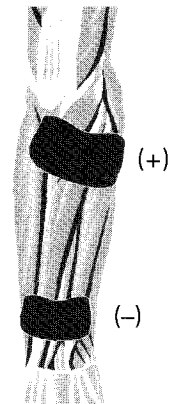


Figura III.20.

En las figuras III. 19 y 21 se dibujan varios puntos motores musculares de la cara posterior en la cintura escapular junto con el punto nervioso del circunflejo, que es fundamental conocerlo en las denervaciones de plexo braquial.

Podemos apreciar los lugares aproximados de mejor respuesta motora para los tres fascículos del trapecio: el deltoídes, que también se manifiesta como tres músculos distintos (anterior, medio y posterior) el dorsal ancho, que normalmente requiere de un electrodo amplio a fin de conseguir la respuesta del mayor número posible de fibras, el redondo mayor; infraespinoso y supraespinoso.

Algunos puntos como el redondo menor, subescapular y coracobraquial localizan sus mejores zonas de respuesta en el interior de la axila.

La misma figura III. 21 muestran algunos puntos motores musculares, resaltando las amplias zonas de respuesta para conseguir contracción del dorsal ancho y glúteo mayor. Además, se dibujan dos puntos motores nerviosos: uno, en la cara interna del brazo, que estimulará todo el paquete nervioso, menos el radial; otro, sobre la escotadura ciática para provocar respuesta del nervio que le da nombre.

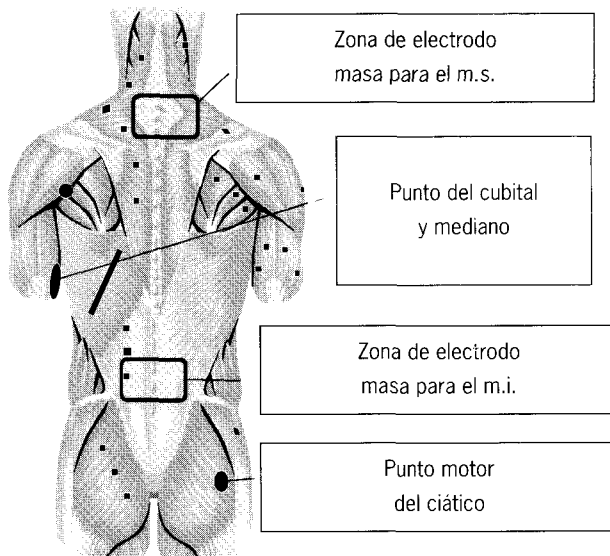


Figura III.21.

Si el electrodo del punto nervioso localizado en la cara interna del brazo es pequeño y lo desplazamos buscando selectividad entre el mediano y el cubital, conseguiremos el mejor punto para uno u otro.

Estas zonas servirán, asimismo, para fijación del electrodo grande y proximal que actuará como masa y, puntualmente, para estimular los distintos músculos inervados por los nervios en cuestión. Utilizar la zona abdominal como lugar de fijación para electrodo masa, es un buen recurso en situaciones donde nos encontremos dificultades para fijar los electrodos en el dorso, por ejemplo, en pacientes encamados sin posibilidades de movilidad.



En las figuras III. 21 y 22 podemos ver los puntos del cuello, una zona interesante para electroterapia sobre todo enfocada bajo el punto de vista de la analgesia. Las respuestas motoras serán más factibles con pequeños electrodos y método bipolar en lugar de monopolar. Dada la cercanía de importantes centros nerviosos (sensitivos, motores y neurovegetativos) debemos cuidar las técnicas aplicadas para no causar más perjuicios que beneficios.

Con frecuencia, los efectos motores buscados en el cuello no se destinan a la potenciación muscular; se diseñarán para luchar contra las contracturas, mejora de circulación de líquidos intra y extramusculares y movilizaciones vertebrales repetitivas conducentes a liberar de malposiciones a éstas.

Podemos apreciar aquí (Fig. III. 21) una amplia zona que estimulará las raíces nerviosas del plexo cervicobraquial, por tanto, al electroestimar dicha zona, apreciaremos respuestas motoras en los músculos del brazo. Lógicamente, esta localización se tomará como buena para el electrodo masa.

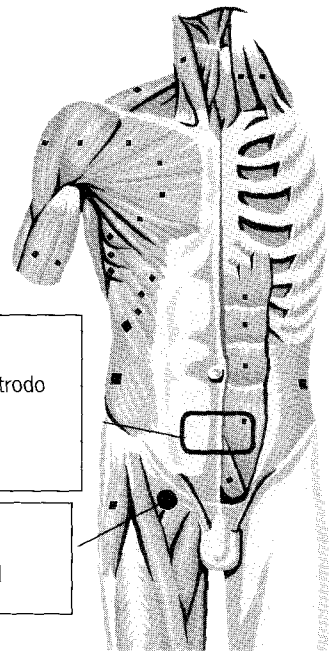
Dentro de la axila también existen buenas zonas de estimulación muscular, pero con las debidas precauciones en cuanto a la sensibilidad e irritabilidad de la piel.

En ocasiones, cuando estamos practicando una electroestimulación motora en músculos del brazo, y el electrodo masa (+) se halla en el origen del plexo, observamos que un cambio de polaridad consigue mejor contracción. Ello es así porque la estimulación del plexo con el negativo (-) es más eficaz que la estimulación directa del músculo. Lo cual, sirve para llamar la atención de nuevo acerca de la importancia que tiene intentar cambios de polaridad sobre la marcha del tratamiento, básicamente si está implicado el nervio.

El punto del femoral se utiliza cada vez más, por provocar éste la contracción completa y homogénea del cuádriceps, en lugar de hacerlo con varias aplicaciones bipolares simultáneas o sobre parte del músculo (ver Fig. III. 22). El desarrollo de técnicas para este punto han conducido a corrientes con bajo efecto de molestia sensitiva y buena respuesta motora.

Los oblicuos del abdomen necesitan grandes electrodos. La estimulación de los rectos anteriores del abdomen requieren de varios puntos por ser segmentados.

Es interesante la estimulación del piramidal del abdomen, pues desencadena la propiocepción para las basculaciones de pelvis en personas que les resulta difícil entender y realizar la maniobra (ver Fig. III. 17).



zona para electrodo masa

punto del femoral

Figura III.22.

Universidad Católica del Maule  
Biblioteca Campus San Miguel

La figura III. 23 representa los principales músculos del rostro y sus puntos motores más importantes.

La electroestimulación de la musculatura en la cara, cuando ésta sufre de parálisis fasciales, seguramente será uno de los tratamientos más adecuados, pero requiere experiencia por parte del fisioterapeuta y dedicación manual durante 20 ó 30 minutos por sesión, desplazando el electrodo puntual (Fig. III. 14) de punto en punto para conseguir el trabajo deseado en cada músculo.

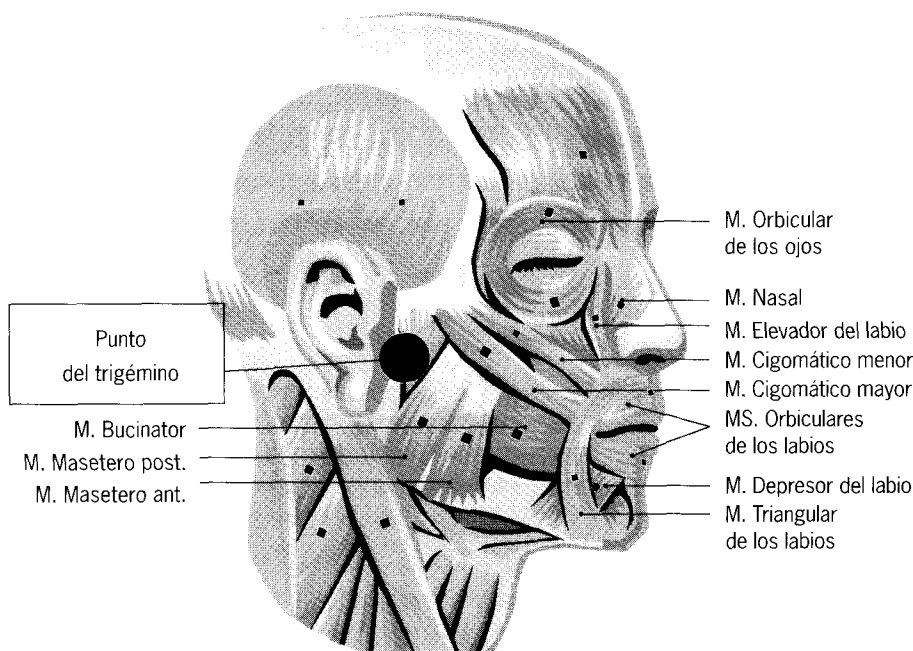


Figura III.25.

El círculo dibujado anterior al trago de la oreja es el punto nervioso del trigémino; punto que puede ser usado como activo para estimular toda la musculatura inervada o como zona de colocación del electrodo masa para las aplicaciones puntuales y selectivas en cada músculo.

Cuando se estimula un nervio en su mejor punto motor, éste manda estímulos eferentes por todas sus ramificaciones. Pero, si una de sus raíces se encuentra afectada, no trasladará el orden de contracción a la musculatura interesada por dicha raíz. Esto nos obliga a practicar estímulos selectivos, precisamente sobre los más afectados. Si el nervio se manifiesta intacto en todo su recorrido, será buena la estimulación en punto nervioso, pero es más frecuente lo contrario.

En la figura III. 24 se marcan los diversos puntos motores de la musculatura intrínseca de la mano, la cual en multitud de ocasiones nos veremos obligados a explorar y tratar con electroestimulación por sufrir denervaciones.

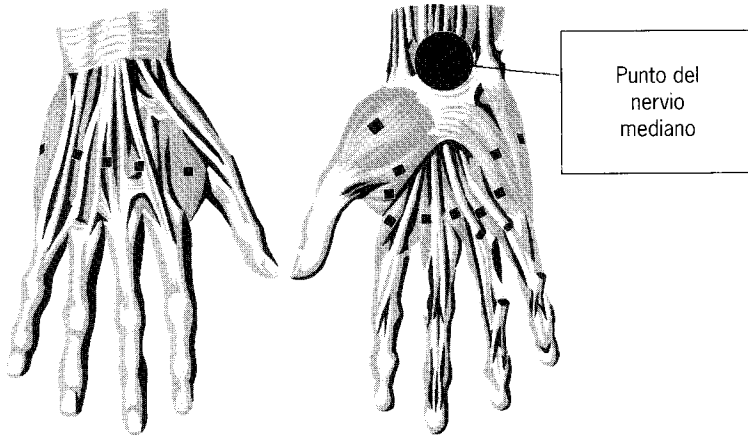


Figura III.24.

Si colocamos el electrodo de referencia, o masa, por encima del antebrazo, con frecuencia nos aparecerá la musculatura extrínseca sin desearlo. Para evitar esta circunstancia, debemos colocar el electrodo masa en la muñeca y aplicar otro, pequeño y exacto como activo sobre los mejores puntos de cada músculo.

La electroestimulación de la mano requiere de aplicación manual y detenida, mediante el electrodo preciso, recorriendo los distintos músculos durante la sesión si realmente deseamos practicar un tratamiento adecuado.

Cuando no estemos ante denervaciones y la musculatura se manifieste intacta, pero se desee potencia, será mejor situar los electrodos en los puntos motores nerviosos con el fin de contraer la mano globalmente.

Si pretendemos estimular la musculatura intrínseca de la mano (oponentes, lumbricales, interóseos, flexores cortos), podemos realizar una aplicación contralateral situando un electrodo en el dorso y otro en la palma esperando contracción global de todos (Fig. III. 25).

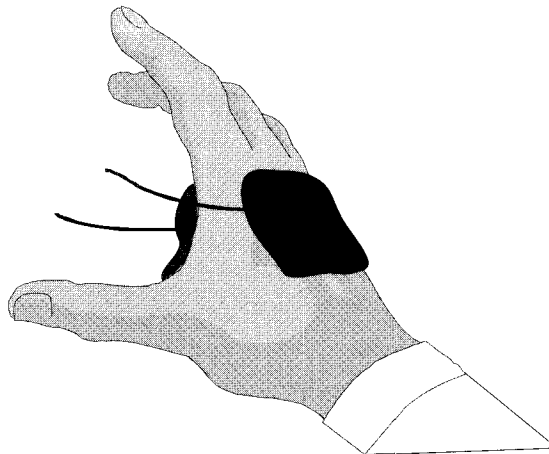


Figura III.25.

La figura III. 26 nos enseña el cuádriceps y sus puntos de aplicación de electrodos más probables. Este músculo tal vez sea el más electroestimulado, lo que ha conducido a diseñar técnicas específicas para él.

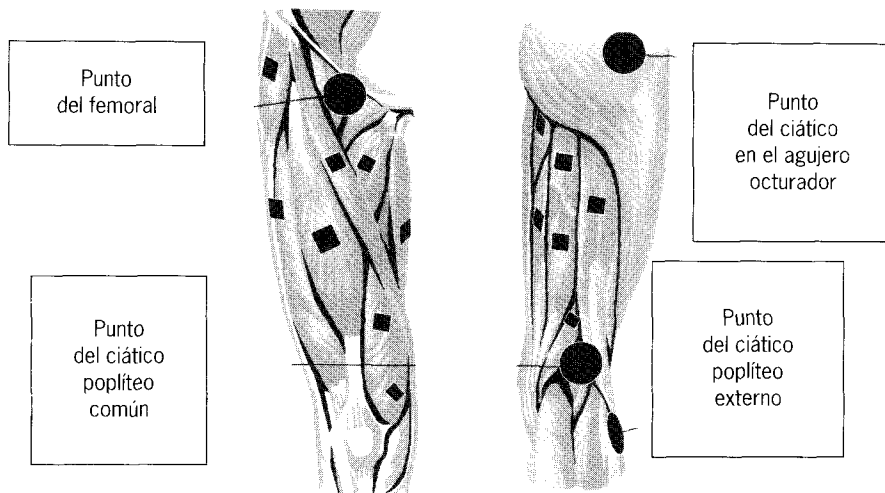


Figura III.26.

Cuando el cuádriceps no se encuentre bajo efectos de denervación, la mejor forma de conseguir su contracción y más homogénea es la de colocar el electrodo activo sobre el punto del nervio femoral, mientras el electrodo masa se sitúa sobre la zona lumbar o abdomen.

Las aplicaciones bipolares múltiples (Fig. III. 27) requieren de regulaciones bien conjuntas de intensidad en todos los canales, para evitar posibles desgarros o dislaceraciones musculares.

Otra forma consiste en aplicar dos grandes electrodos en sentido contralateral y oblicuos, para que el campo eléctrico invada al mayor número de fibras posible (Fig. III. 28). Pero, el campo eléctrico o corriente aplicada en este caso tiene propiedades distintas a los trenes formados con impulsos derivados de las interrumpidas galvánicas. Son corrientes de media frecuencia moduladas en baja, con pulsos modulados en forma cuadrangular para evitar molestias en la piel, penetran mucho y consiguen gran poder de contracción; son las corrientes de Kotz.

También en la figura III. 26 se señalan los puntos motores musculares y nerviosos en la cara posterior de los miembros inferiores. Resaltan como puntos motores nerviosos el correspondiente al ciático poplíteo común, ligeramente por encima del rombo poplíteo y el punto del ciático poplíteo externo localizado posterior a la cabeza del peroné.

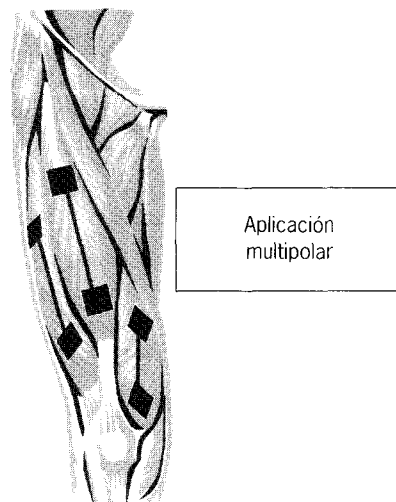


Figura III.27.

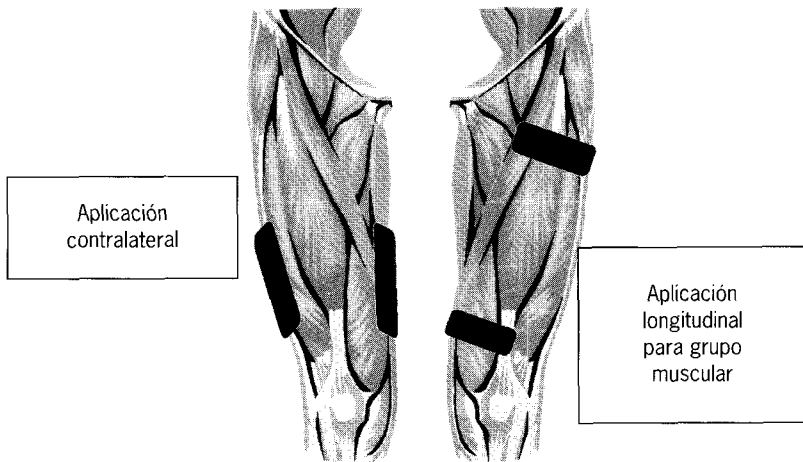


Figura III.28.

Para conseguir respuestas buenas de los grandes músculos isquiotibiales o del tríceps, podemos utilizar varios métodos:

- bipolar de un músculo o vasto de los polifasciculares;
- monopolar en punto motor muscular sobre el músculo o fascículo deseado;
- bipolar múltiple, buscando respuesta de grandes masas o varios vastos simultáneamente (cada cual con su correspondiente intensidad) y
- monopolar en punto motor nervioso que conseguirá la respuesta de todos los músculos inervados por el nervio estimulado.

La musculatura de isquiotibiales y tríceps sural requiere de ciertas precauciones a la hora de trabajarlas con electroestimulación, pues el trabajo descontrolado, sin resistencia al esfuerzo muscular o con intensidades altas, generará fácilmente calambres y tetanizaciones muy desagradables para el paciente.

Otra parte corporal a la que se le aplica con frecuencia electroestimulación es la cara anterior y lateral de la pierna (Fig. III. 29) debido a las frecuentes parálisis o denervaciones del nervio ciático (habitualmente del ciático poplíteo externo), viéndonos obligados a explorar y tratar los distintos músculos afectados.

Resulta importante tener presente el punto nervioso del ciático poplíteo externo para estimular el conjunto de músculos inervados por él o usarlo como punto de referencia o masa.

Son muy interesantes las aplicaciones contralaterales para estimular el punto nervioso del ciático poplíteo externo (aunque más arriba se desaconseja la colocación contralateral para estimulación motora). Dado que los electrodos no son situados sobre masas musculares ni otros puntos nerviosos, no habrá respuestas de éstos, pero sí del ciático poplíteo externo (Fig. III. 30).

La segunda opción contralateral es la referida al deltoides, pues una estimulación longitudinal de éste provoca respuesta distinta en las fibras anteriores, medias y posteriores. Estimulándolo transversalmente, conseguimos respuesta homogénea de los tres fascículos. En consecuencia, estas aplicaciones pueden ser, excepcionalmente, muy interesantes (Fig. III. 30).

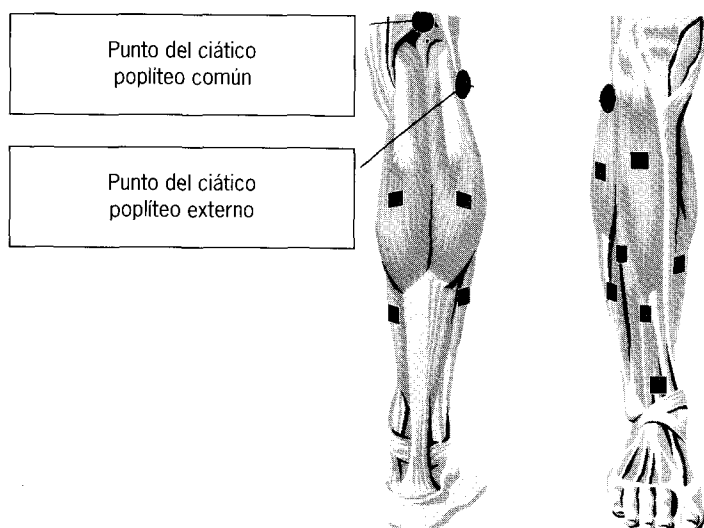


Figura III.29.

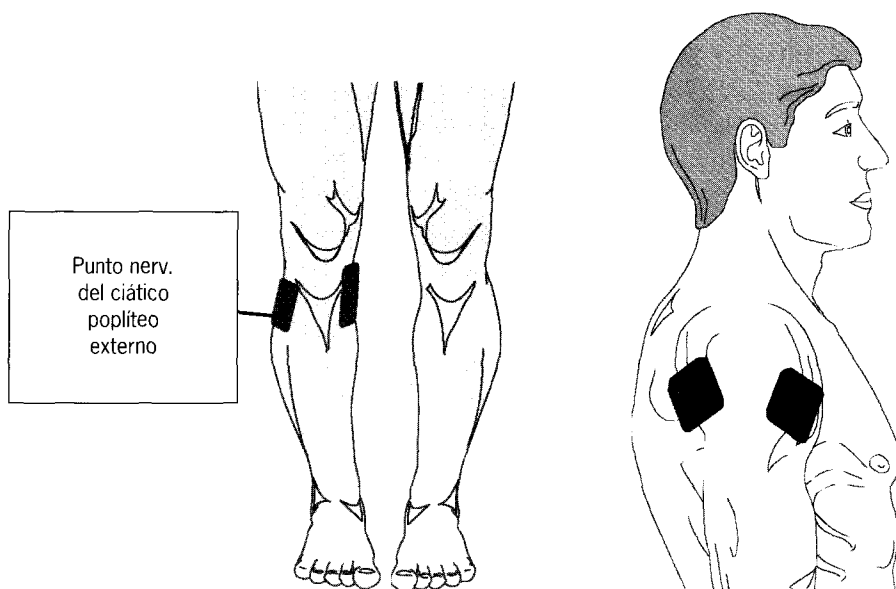


Figura III.30.

Llama la atención el punto motor del tibial anterior por hallarse bastante cerca de su origen (Fig. III. 31). El punto del extensor del primer dedo puede ser difícil de localizar, habitualmente se encuentra en la cara anterior de la pierna e inmediatamente por encima del tobillo (Fig. III. 32), pero, a veces, nos veremos obligados a buscarlo más distal siguiendo el trayecto del tendón.

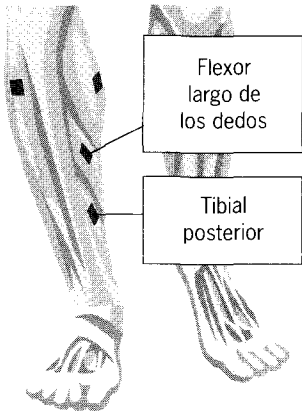


Figura III.51.

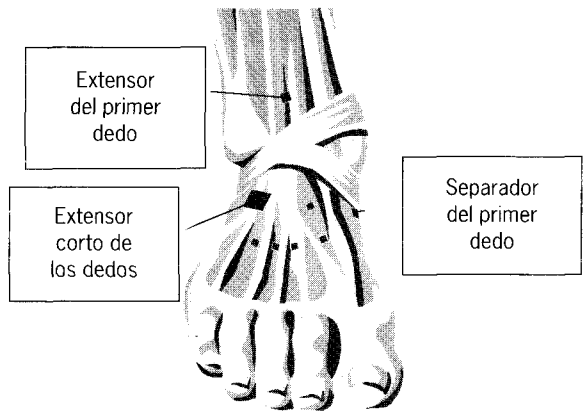


Figura III.52.

Cuando necesitamos estimular los gemelos es muy fácil, pero si buscamos trabajo de los flexores profundos, como el tibial posterior y flexores de los dedos, sus puntos se localizan en el tercio medio de la cara interna en la pierna e inmediatamente de haber sobrepasado con el tacto el borde interno de la tibia (Fig. III. 31).

El pie es un órgano importante del organismo porque influye en la marcha, en la biomecánica corporal y en la estática (Fig. III. 32).

Al encontrarse el pie con frecuencia comprimido por el calzado, pierde muchas de sus funciones, por lo cual algunos músculos dejan su trabajo y función para degenerar conduciendo a problemas tales como *ballus valgus*, *ballus flexus*, pie plano, pie cavo, pie valgo o varo, etcétera.

La estimulación eléctrica y selectiva de los músculos poco tróficos y arcos plantares da buenos resultados si se saben elegir los mejores puntos de ubicación de electrodos y el diseño de las corrientes correctas. Los tratamientos del *ballus valgus* (juanete), que contemplan estimulación al separador del primer dedo (Fig. III. 32), dan muy buen resultado.

Es muy interesante la aplicación bipolar de sendos electrodos en la planta del pie, en sentido longitudinal, cuando el pie sufre de problemas traumatológicos y osteoporóticos (el paciente pisa o coloca el pie sobre los electrodos) (Fig. III. 33). Se aplican trenes de varios segundos (3 a 5 sg) y pausas de igual duración, los trenes se compondrán con impulsos cuadrangulares que mantengan polaridad galvánica (+) proximal y (-) distal, pero lo fundamental en este tratamiento es que las gamuzas de los electrodos sean empapadas en suero fisiológico.

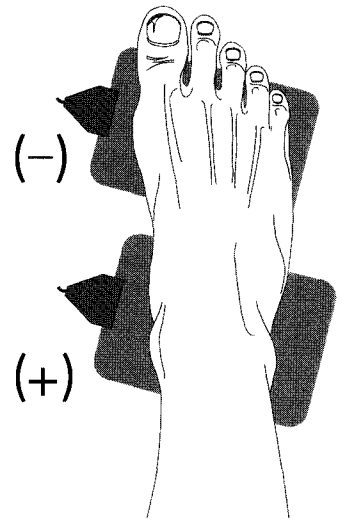


Figura III.55.

## RESUMEN DE PUNTOS MOTORES NERVIOSOS

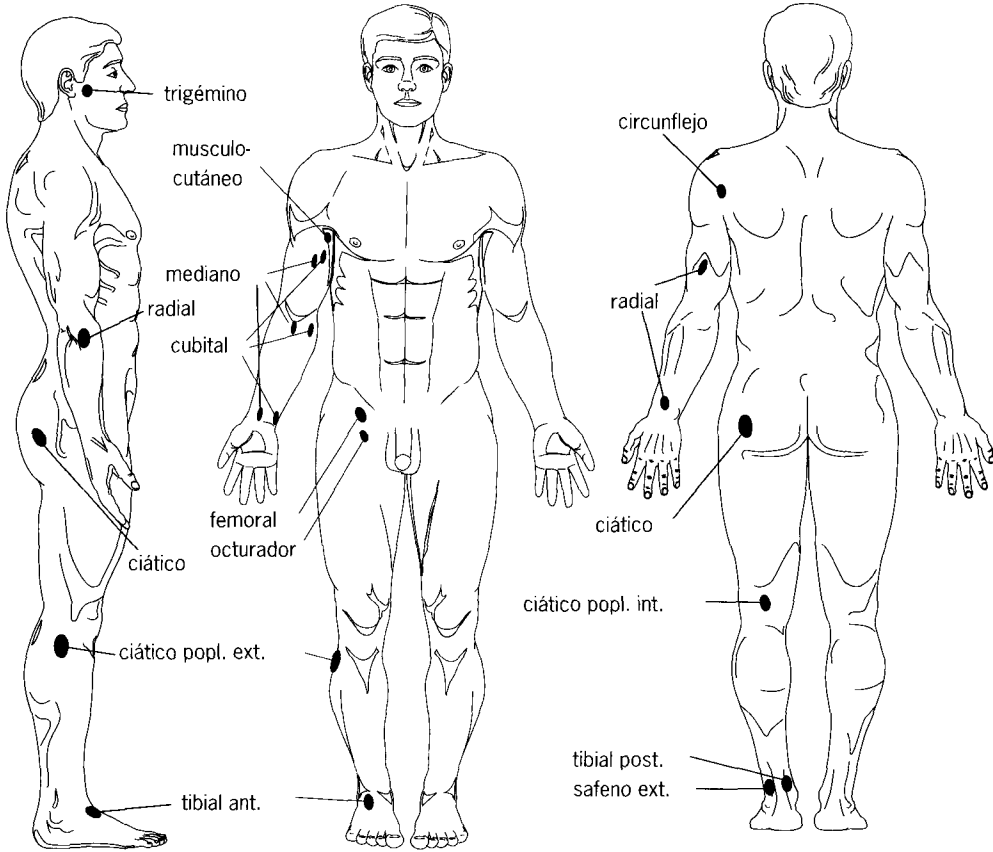


Figura III.54.



## RESUMEN DE PUNTOS MOTORES MUSCULARES

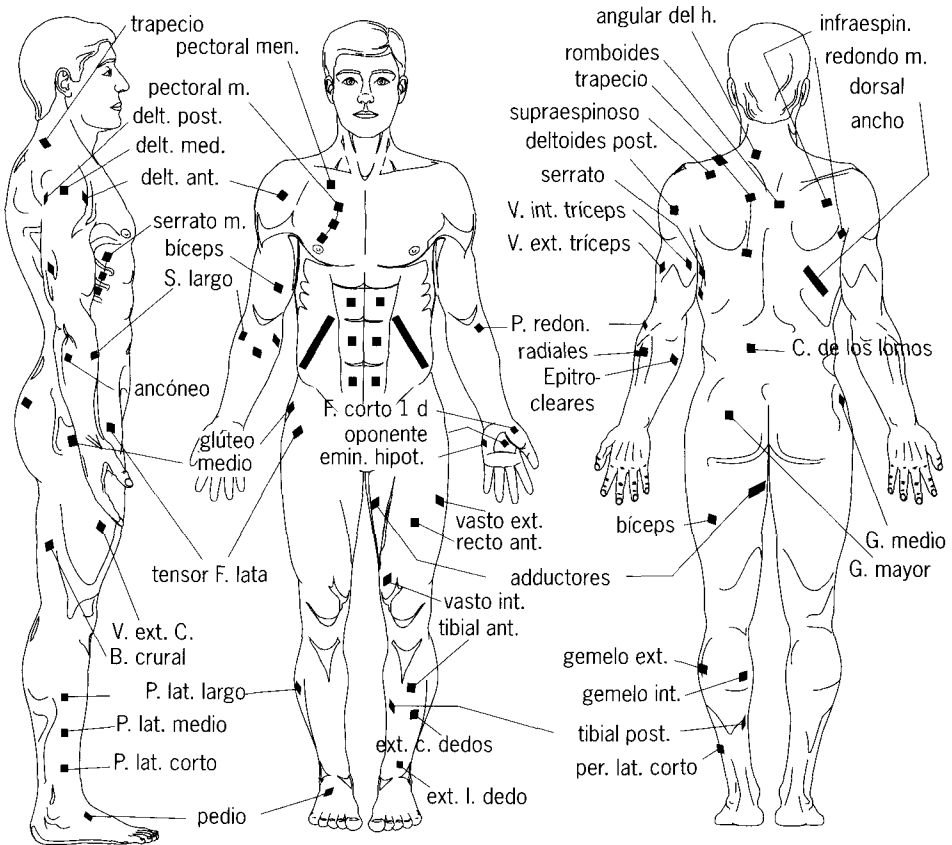
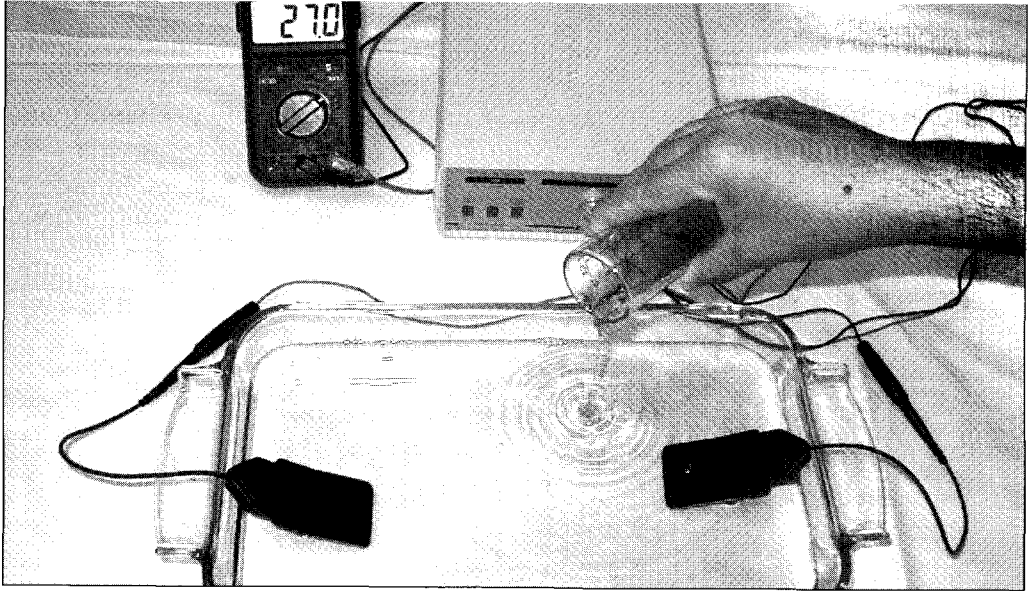


Figura III.55.



## CAPÍTULO IV

# Disoluciones y sus reacciones

Antes de entrar a estudiar el galvanismo y sus efectos, tenemos que entender qué ocurre dentro del organismo; recordaremos someramente cómo se encuentran las sustancias a las que nos vamos a referir con frecuencia.

Para que la vida sea posible, se tienen que mantener constantemente una serie de intercambios de sustancias nutritivas y desechos de las células para que éstas puedan seguir realizando sus transformaciones químicas y energéticas destinadas a la consecución del trabajo encomendado a cada célula.

Para que las sustancias y elementos puedan llegar a cumplir su función, necesitan desplazarse por el medio en el que se encuentran. Por ello las encontraremos en estado de:

- disolución;
- dispersión o
- suspensión.

en los líquidos orgánicos. De forma que las mejores situaciones serán la disolución y la dispersión (Fig. IV. 1).

Decimos que un *elemento simple* es la parte más pequeña que podemos obtener de ese elemento sin que pierda sus características

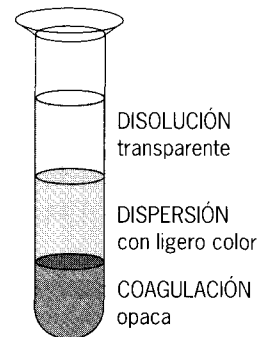


Figura IV.1.

propias. Dicha partícula de materia se denomina *átomo* o *ion*, dependiendo de si está cargado eléctricamente. (Véase tabla periódica al final del capítulo).

Si el átomo o ion se asocia o enlaza con otro u otros de su misma especie o distinta, darán como resultado las *moléculas de elementos compuestos*.

Según esto, los elementos se pueden encontrar de tres formas fundamentales:

- como átomos en su estado eléctrico neutro (aislado y característico de cada sustancia o formando parte de elementos compuestos);
- como ion con carga eléctrica (disuelto en un líquido o gas y más o menos unido o atraído por otros elementos disueltos en su proximidad o con moléculas del disolvente);
- como ion neutralizado (formando parte de nuevos compuestos al enlazarse con otros elementos de signo eléctrico distinto, dando lugar a las moléculas).

¿Cuál es la diferencia entre *átomo e ion*? Fundamentalmente que el átomo se encuentra completo, tanto en su núcleo como equilibrado eléctricamente en sus niveles o capas de electrones, de manera que las fuerzas eléctricas del núcleo (+) se anulan por las fuerzas eléctricas de los electrones de la corteza (-). Pero, si el átomo pierde o gana electrones de su última capa, se producirá un desequilibrio de cargas eléctricas dentro de él pasando a llamarse desde ese momento *ion* (Fig. IV. 2).

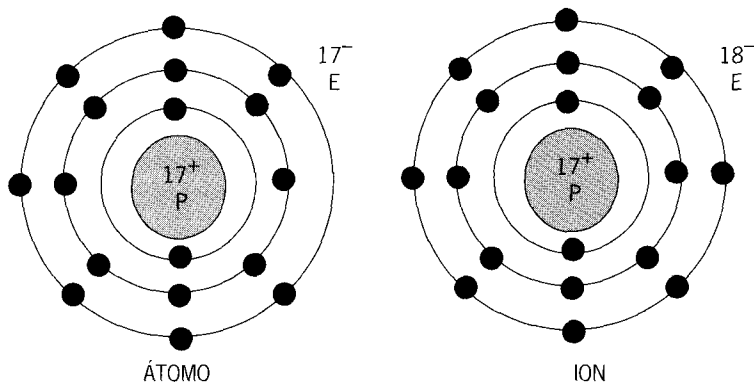


Figura IV.2.

En la figura IV. 2 se representa el átomo de cloro con 17 protones y 17 electrones consiguiendo su equilibrio eléctrico, pero a la derecha de éste se pueden contar 18 electrones apareciendo un exceso de carga eléctrica (-) en un electrón o valencia negativa.

Si el átomo pierde electrones, quedarán más cargas (+) del núcleo que cargas (-), dando como resultado un ion con predominio (+).

Si el átomo toma electrones, se manifestarán más cargas (-) de la corteza que las (+) del núcleo, dando como resultado un ion con carga (-).

Los iones con carga eléctrica (+) tienden a enlazarse con los iones de carga (-), siempre que se respete la valencia o número de electrones cedidos y adquiridos, aunque también

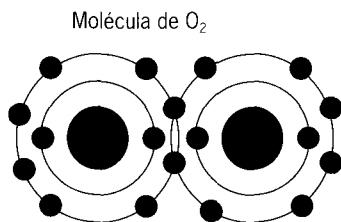


Figura IV.5.

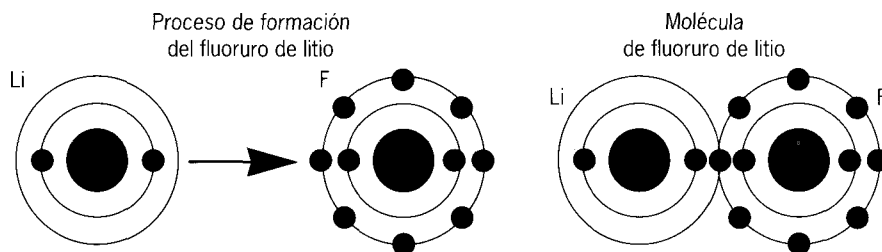


Figura IV.4.

se pueden enlazar iones del mismo signo eléctrico, como el  $O^{2-}$  cuando se unen dos iones (-) entre sí para formar la molécula de  $O_2$  (molécula de oxígeno gas en enlace covalente). Lo mismo ocurre con el cloro, el flúor, el hidrógeno, etc. (en enlace monovalente, divalente o trivalente) (Figs. IV. 3 y 4).

## Ley del octete

Existen una serie de elementos que no se combinan con otros debido a que su estructura atómica es muy estable y no llegan a alcanzar el estado de iones, manteniéndose siempre como átomos neutros. Para que dichos elementos sean tan estables deben cumplir la siguiente característica: **la última capa se completa con ocho (8) electrones (salvo los que únicamente presentan una sola capa energética, que se completa con dos).**

Todos los demás elementos (átomos) que en su último nivel no dispongan de ocho electrones muestran la tendencia a conseguirlos (*Ley del octete*) por tres caminos distintos:

- 1) Los que en su última capa poseen 1, 2 ó 3 electrones los ceden para que ésta desaparezca y les quede la anterior completa con los ocho electrones deseados, pasando de ser un átomo a un ion con carga (+) de 1, 2 ó 3 valencias (+), respectivamente. Ejemplo: el sodio con 1 valencia positiva  $Na^+$ . Este grupo forman los *radicales básicos*. Luego, en la disolución que abunden radicales con cargas (+), el pH será alcalino o básico (Fig. IV. 5).
- 2) Los que en su última capa tienen 4 electrones se mantienen como están para unirse a otros en enlaces *monovalentes* o *covalentes*, es decir, captan uno o comparten dos electrones entre dos o más iones de manera que todos ellos cumplen la ley del *octete*.







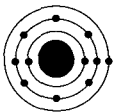
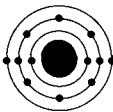
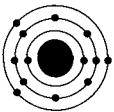
ALGUNOS METALES				
Los elementos inertes ni ceden ni toman electrones de la última órbita.	H 1		Los electrones se desprenden fácilmente de los átomos metálicos. El resto del átomo forma así un ion positivo, quedando radicales alcalinos.	
He 2	Li 3		Be 4	Bo 5
				
Ne 10	Na 11	Mg 12	Al 13	
				

Figura IV.5.

Estos elementos tienen cuatro valencias (-). Ejemplo: (el Carbono con sus 4 valencias negativas  $C4^-$ ).

- 3) Los átomos o elementos que en su última capa tienen 5, 6 ó 7 electrones, tienden a completarla hasta 8, por lo que captan electrones cuando se enlazan, quedando con 3, 2 y 1 valencia (-) respectivamente. Ejemplo: (el cloro con 1 valencia negativa  $Cl^-$ ). Este grupo va a formar los *radicales ácidos*. En la disolución donde abunden los radicales con signo (-) el pH será ácido (Fig. IV. 6).

Los elementos que pierden electrones para ser iones (+), primer caso, son los *metales* y se encuentran colocados en la *tabla periódica de los elementos* en las columnas de la izquierda. (Véase tabla periódica y figura IV. 5).

Los elementos que ganan electrones, que muestran 4, 5, 6 ó 7 en la última capa, pasan a ser iones (-), son los *no metales* y se encuentran situados en las columnas de la derecha de la *Tabla periódica*. (Véase tabla periódica y figura IV. 6).

La última columna de la derecha de la tabla periódica está compuesta por los gases inertes o nobles, elementos cuyos átomos muestran en la última capa 8 electrones. Estos elementos nunca son iones ni se combinan con otros por encontrarse completa su estructura atómica, es decir, por cumplirse la ley del *octete*, siendo estos elementos el punto de referencia de todos los demás, o lo que es lo mismo:

- si un elemento se encuentra con 1, 2 ó 3 electrones en su último nivel energético, los cederá para formar parte del período anterior (del correspondiente al gas noble de su anterior período) por perder una capa;
- pero si el elemento posee 4, 5, 6 ó 7 electrones, tomará los que le falten para los 8 que tiene el gas noble de su propio período.

ALGUNOS NO METALES			
Si la última capa se encuentra ocupada en su mitad o más, el átomo toma electrones de otro u otros cercanos hasta completar 8 electrones. Así, los <i>no metales</i> captan electrones y forman radicales ácidos.			
C            6	N            7	O            8	F            9
Si            14	P            15	S            16	Cl           17

Figura IV.6.

Los elementos inertes o gases nobles marcan el final de cada período indicándonos los orbitales de dicho período por orden de número de electrones en sus distintas capas o conjuntos orbitales (Tabla IV. 1) (Tabla IV. 2).

Resumiendo y reforzando conceptos, digamos que: es la ley por la cual los distintos elementos tienen la tendencia a convertirse en átomos semejantes a los gases inertes cediendo electrones los metales y tomando electrones los no metales.

Para poder llevar a cabo esta ley, los elementos se combinan con otros o se disocian en disoluciones en forma de iones o elementos a semejanza de los inertes (en cuanto a su número de 8 electrones en la última capa).

TABLA IV. 1

Número atómico	Símbolo	Nombre	Órbitas
2	He	Helio	2 (*)
10	Ne	Neón	2-8
18	Ar	Argón	2-8-8
36	Kr	Kriptón	2-8-18-8
54	Xe	Xenón	2-8-18-18-8
86	Rn	Radón	2-8-18-32-18-8

\* El helio, aunque solamente presenta 2 electrones, se considera completo por ser éstos los correspondientes a su única órbita completa.

TABLA IV. 2  
VALENCIAS DE LOS ELEMENTOS MÁS IMPORTANTES

Metales			No metales			
Grupo	Elemento	Val. Iónica	Grupo	Elemento	Val. Ion.	Val. Coval.
Alcalinos	Litio (Li)	1+	Alógenos	Hidrógeno (H)	1+, 1-	1
	Sodio (Na)	1+		Fluor (F)	1-	—
	Potasio (K)	1+		Cloro (Cl)	1-	1, 3, 5, 7
	Calcio (Ca)	2+		Bromo (Br)	1-	1-
Alcalino Térreos	Magnesio (Mg)	2+	Anfígenos	Yodo (I)	1-	1, 5, 7
	Boro (B)	3+		Oxígeno (O)	2-	2
Aluminio (Al)	3+	Azufre (S)		2-	2, 4, 6	
De transición	Mercurio (Mg)	1+ y 2+	Nitrogenoideos	Nitrógeno (N)	3-	1, 3, 5
	Cobre (Cu)	1+ y 2+		Fósforo (P)	3-	3, 5
	Oro (Au)	1+ y 3+	Carbonoideos	Carbono (C)	4-	2, 4
	Plata (Ag)	1+		Silicio (Si)	4-	2, 4
	Manganeso (Mn)	4+ y 7+				
	Cinc (Zn)	2+				
	Hierro (Fe)	2+ y 3+				
	Níquel (Ni)	2+ y 3+				
	Cromo (Cr)	2+ y 3+				
	Platino (Pt)	2+ y 4+				
	Plomo (Pb)	2+ y 4+				
	Estaño (Sn)	2+ y 4+				

Los iones, al tener carga eléctrica, se verán sometidos a las fuerzas eléctricas de otros iones próximos, así como a fuerzas eléctricas aplicadas desde el exterior al medio donde se encuentren.

Los elementos simples asociados a otros forman los elementos compuestos o moléculas y éstas pueden o no poseer carga eléctrica dependiendo de las siguientes causas:

- si la molécula está formada por elementos de igual carga eléctrica en cuanto a polaridad e intensidad, la molécula será neutra o sin polaridad (véase molécula de  $O_2$  en figura IV. 7);
- si la molécula está formada por elementos de distinta polaridad, por sendos extremos, mostrará la polaridad correspondiente a los elementos originales (véase molécula de  $H_2O$ );
- dependiendo de la *electronegatividad* de cada elemento, la molécula resultante quedará deformada, de manera que el ion de mayor electronegatividad o más grande, concentra en su lado mayores cargas negativas quedando el lado del otro u otros iones con carga positiva (Dipolo de la molécula de agua). Esta propiedad es la que da forma y *arquitectura* a las distintas moléculas, sean simples o muy complejas como las cadenas proteínicas (Fig. IV. 7).

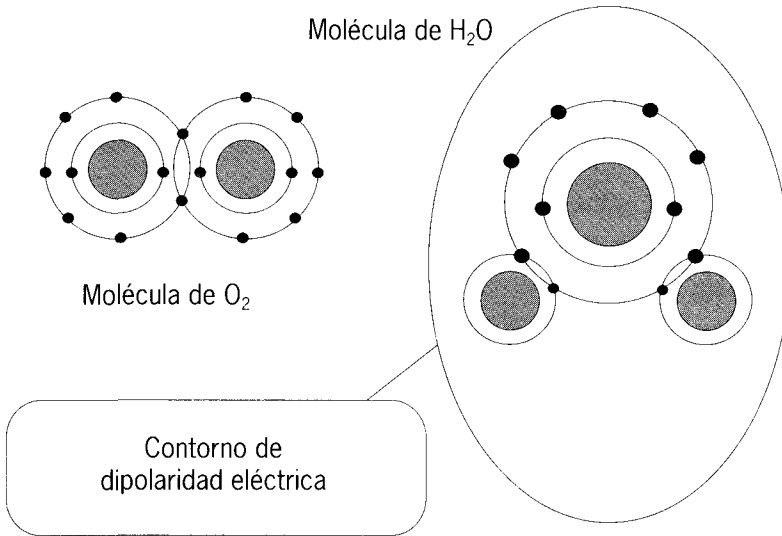


Figura IV.7.

Como queda dicho, los iones, moléculas y distintas sustancias que se hallan dentro del organismo vivo se encuentran en *disolución*, en *dispersión* o en *suspensión*, dependiendo de su tamaño y lugar; unas veces en relación eléctrica muy directa con las moléculas de su proximidad y otras separados por membranas de distinto grado de permeabilidad.

Esto nos conduce a detenernos en un breve recuerdo de las disoluciones y la presión osmótica.

## Disoluciones, dispersiones coloidales y suspensiones (presión osmótica y oncótica)

### DISOLUCIONES

Es un fenómeno que depende de fuerzas de la Física, la Química y la Electricidad, y que consiste en la deambulación de los iones o moléculas de una sustancia entre las moléculas de otra formando un todo homogéneo.

El elemento o sustancia que se disuelve recibe el nombre de *soluto*, mientras que la sustancia sobre la que se disuelve es el *disolvente*.

La disociación de sustancias o reacciones químicas dentro de las disoluciones siempre generan energía en forma de calor, mientras que otras reacciones absorben energía. Este punto es importante tenerlo en cuenta cuando se dan intercambios y nuevos enlaces dentro del organismo, de suerte que las reacciones propias del polo negativo en la aplicación de galvanismo producen más calor que en el positivo.



Las concentraciones de las disoluciones pueden ser:

- disolución diluida;
- disolución concentrada;
- disolución saturada y
- disolución sobre saturada.

## COEFICIENTE DE SOLUBILIDAD

Es el correspondiente al grado de disolución de un soluto, de manera que se alcance el umbral del estado de saturación.

El coeficiente de solubilidad se verá muy alterado con la temperatura y con la presión atmosférica, es decir, cuanto mayor sea la temperatura, mayor es el coeficiente; y cuanto mayor es la presión, también aumenta el índice de solubilidad. Si unimos ambos factores o existen catalizadores de las reacciones deseadas, los resultados pueden ser visiblemente alterados.

En la figura IV. 8 se refleja la solubilidad de algunos solutos importantes en la materia viva, señalándose los gradientes de saturación por 100 gramos de agua a distintas temperaturas.

Es interesante observar cómo el cloruro sódico y el cloruro potásico están poco influidos en su coeficiente de solubilidad ante el aumento de temperatura en la disolución, al contrario de otras sustancias que se ven muy afectadas. Dato interesante por su relación con el organismo humano ya que, tanto uno como el otro, son muy abundantes y fundamentales para la materia orgánica.

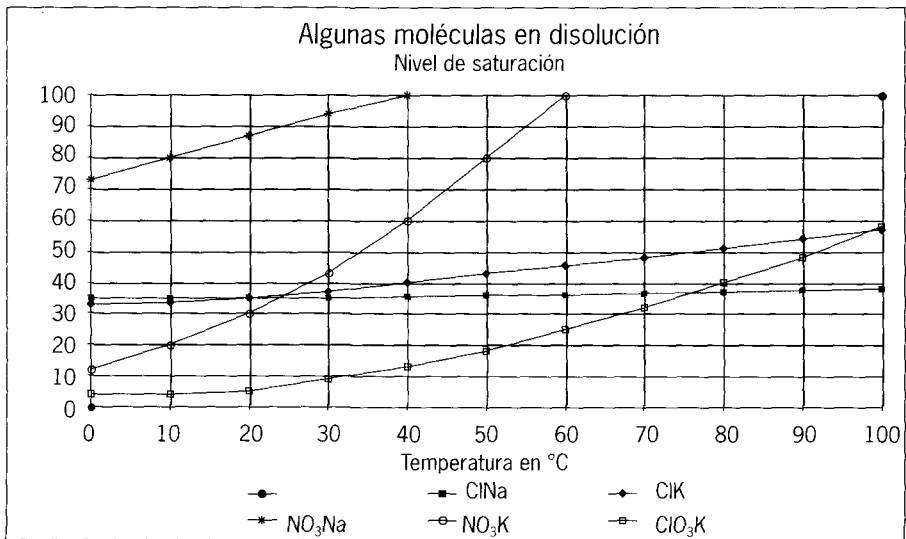


Figura IV.8.

La relación o proporción existente entre el soluto y el disolvente se mide de varias formas:

$$\text{CONCENTRACIÓN CENTESIMAL} = \frac{\text{gramos de sustancia}}{100 \text{ gramos de } \textit{disolvente}}$$

$$\text{DISOLUCIÓN MOLAR} = \frac{\text{número de moles de soluto}}{\text{número de litros de } \textit{disolución}}$$

$$\text{DISOLUCIÓN MOLAL} = \frac{\text{número de moles de soluto}}{\text{número de Kg de } \textit{disolvente}}$$

## DISPERSIONES COLOIDALES

La diferencia fundamental entre las disoluciones y las dispersiones se basa en el tamaño de sus partículas: mientras que en la disolución las divisiones de la materia son a nivel de iones o pequeñas moléculas, en las dispersiones las divisiones mínimas son a nivel de partículas más grandes que se hallan inmersas en el seno de otra sustancia, mantenidas por fuerzas eléctricas de las moléculas vecinas o formando cristales más o menos grandes dependiendo de las fuerzas osmóticas y eléctricas de las sustancias dispersantes.

Ejemplos de dispersiones son la tinta china o la leche. La primera es una dispersión de partículas de carbón en agua; la segunda, grasa y caseína en una solución de lactosa y sales.

La sustancia dividida y dispersa recibe el nombre de *fase dispersa*, mientras que la sustancia soporte recibe el de *fase dispersante*.

## CLASIFICACIÓN DE LAS DISPERSIONES

Pueden ocurrir tres fenómenos fundamentales:

- 1) que las moléculas de la fase dispersa se interpongan entre las moléculas de la fase dispersante formando una verdadera disolución a nivel molecular, unidas unas a otras por atracciones de polaridad eléctrica. Forma fundamental dentro de la materia viva;
- 2) que las partículas de la fase dispersa se agrupen en grumos o cristales de un tamaño de entre 1 milimicra a 100 milimicras constituyendo una falsa disolución o disolución coloidal. Las fuerzas eléctricas de otras agrupaciones moleculares, movimiento de la fase dispersante, la temperatura, la presión exterior, junto con la presión oncótica y osmótica, las mantiene dispersas sin que tiendan a depositarse en el fondo del recipiente. Muchas sustancias se encuentran en esta forma dentro de los organismos vivos;

- 3) que las partículas o agrupaciones de partículas de la fase dispersa sean mayores a 100 milimicras formando una suspensión donde las fuerzas eléctricas, movimiento del fluido, temperatura y presiones osmótica y oncótica no son suficientes para mantenerlas dispersas por la fase dispersante y, como consecuencia, tienden a sedimentarse en el fondo del recipiente que contienen la suspensión. El movimiento o desplazamiento constante es la fuerza fundamental que las mantendría diluidas por el medio (Fig. IV. 1).

La sangre o la linfa son buenos ejemplos en los que se dan simultáneamente las tres circunstancias. Algunos líquidos corporales deben formar parte de los dos primeros puntos, es decir, disolución y dispersión coloidal, de suerte que, en cuanto permitan la suspensión o sus partículas se sedimenten o depositen, están provocando procesos patológicos. Podemos ver estas circunstancias en la sangre coagulada en trombos, la linfa retenida y edematosa, la orina con depósitos cristalinos y otros.

La abundancia de agua (moléculas de  $H_2O$ ), tiene un gran poder dispersante y disolvente por su polaridad eléctrica en forma de dipolo y por su influencia directa en la presión osmótica (Fig. IV. 9).

**También las fuerzas eléctricas aplicadas desde fuera, fuerzas que superen a las propias de la sustancia o fase dispersante, serán capaces de romper partículas grandes en iones o en otras más pequeñas evitando la sedimentación, nada conveniente para el organismo. Lo conseguiremos mediante ultrasonidos rompiendo agrupaciones moleculares, alta frecuencia inyectando energía en forma de calor a la dispersión o masaje manual movilizándolo el líquido para evitar la sedimentación.**

Las partículas de los coloides reciben el nombre de *micelas* y, como ya se ha dicho, presentan polaridad eléctrica, por lo tanto, se les puede dividir o desplazar con electrodos de galvanismo.

El comportamiento de las *micelas* es muy interesante de estudiar para nuestro caso, dado que la mayor parte de los efectos producidos por el galvanismo está basado en el comportamiento de dichas *micelas*, con lo que podremos entender mejor el porqué de dichos efectos.

Se encuentran en dos estados fundamentales:

- *estado de sol* y
- *estado de gel*

**Estado de sol.** Se da cuando las partículas o micelas se hallan dispersas o diluidas por la fase dispersante (*SOLuble*).

**Estado de gel.** Cuando las partículas o micelas se manifiestan sedimentadas o agrupadas en grandes grumos (*GELatina*).

Del estado de sol se puede pasar al estado de gel por el proceso de *floculación* o *coagulación* y del estado de gel se puede pasar al estado de sol por el proceso de *salvación* o *licuefacción*. Para algunas sustancias el paso es reversible, mientras que para otras no. Las que pueden pasar de sol a gel y viceversa, reciben el nombre de *líofilos*, pero las que no pueden volver de gel a sol, se llaman *líofobos*. **Muchas de las sustancias de la materia viva**

son reversibles o liófilos, sobre las cuales nosotros con nuestras técnicas intentaremos «recuperarlas» del estado de gel al de sol.

Veamos en la siguiente tabla IV. 3 algunas características y diferencias fundamentales existentes en las tres circunstancias.

TABLA IV. 3

de 0,001 a 1 milimicra	de 1 a 100 milimicras	de 100 mm a 100 micras
Soluciones verdaderas	Dispersiones coloidales	Suspensiones
claras		turbias
no sedimentan		sedimentan
pasan los filtros ordinarios de papel		no pasan los filtros ordinarios
no visibles	visibles con ultramicroscopio	visible con microscopio o a simple vista
<i>pasan por membranas animales</i>	<i>no pasan por membranas animales</i>	

La formación de cristales o agrupaciones de elementos en formas geométricas, se debe a los iones o moléculas con polaridad eléctrica a semejanza de dipolos uniéndose sucesivamente entre sí, de manera que el (-) de uno contacte con el (+) del otro, formando cadenas que se expanden en las tres dimensiones (Fig. IV. 9).

La mayor o menor extensión y tamaño de los cristales depende de la cantidad de moléculas de agua (u otra sustancia disolvente) que rodeen a cada molécula del cristal, ya que si la fuerza de atracción de las moléculas de agua supera a la fuerza de cohesión hacia el cristal, el cristal será disuelto (obsérvese figura IV. 9), pero si la suma de fuerzas de las moléculas del disolvente es menor que las fuerzas de cohesión hacia el cristal, el cristal seguirá

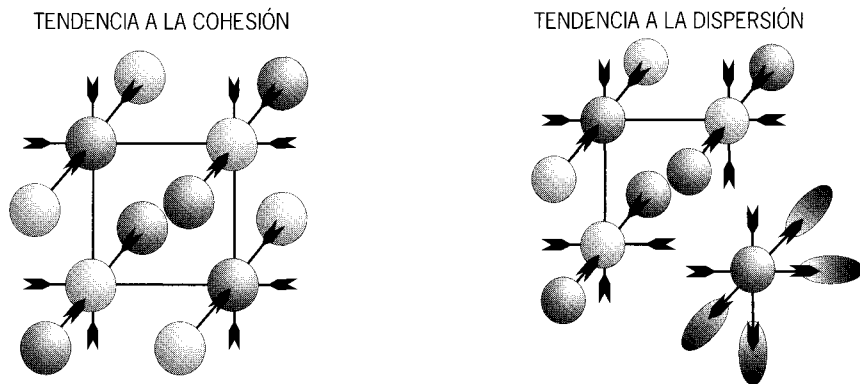


Figura IV.9. (Izquierda). La fuerza de cohesión tiende a sumar nuevos iones a la molécula. (Derecha). Los dipolos del disolvente pueden arrancar iones de la molécula si suman más fuerzas que las de cohesión.

rá formándose. Ésta es otra razón de la importancia que tiene la suficiente proporción de agua en los tejidos y líquidos corporales.

Por otra parte, existen sustancias o coloides que protegen a las dispersiones de coagularse, *anticoagulantes*.

## Movimiento Browniano

Otra propiedad de las disoluciones coloidales consiste en el *movimiento constante de las partículas* (movimiento Browniano), según el cual, las micelas (o iones) se desplazan y chocan unas contra otras constantemente dando lugar a la asimilación selectiva de unas sustancias por otras al ponerlas en contacto, quedando eléctricamente adheridas para formar los compuestos si el signo eléctrico es opuesto. **El movimiento Browniano con sus choques iónicos y moleculares es un generador de energía cinética y calórica (irradiación de energía electromagnética en la banda de infrarrojos)** (Fig. IV. 10).

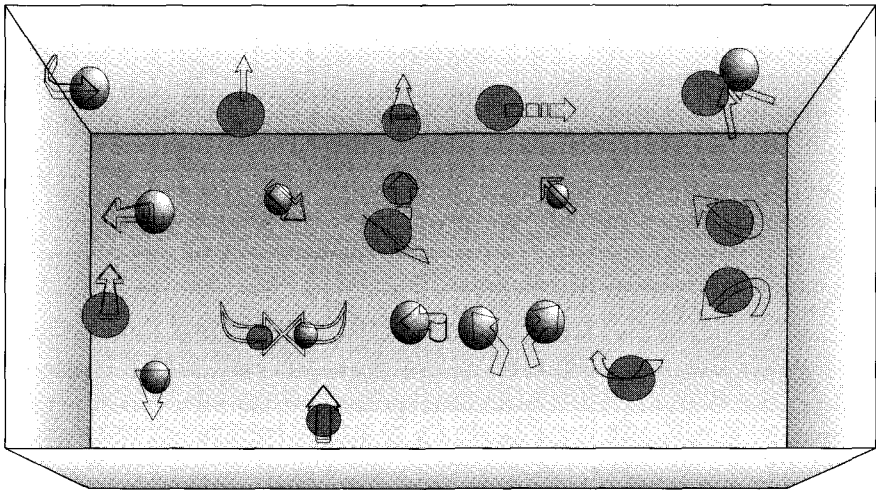


Figura IV.10.

Según lo dicho hasta este punto, vemos cómo existen fuerzas iónicas y moleculares basadas en las cargas eléctricas provocando que otras sustancias se desplacen por un disolvente buscando siempre los puntos de mayor atracción. Si estas fuerzas se ven saturadas o equilibradas, se dará el nivel de saturación o el gradiente de presión osmótica será cero tendiendo a la disminución del movimiento Browniano y reducción de actividad química.

## Ósmosis

Es el fenómeno o fuerza por la cual las moléculas de una sustancia tienden a dispersarse y entremezclarse con las moléculas de otra.

Se puede dar en la propia disolución o a través de una membrana permeable que permita el paso de las sustancias a través de ella. Si las sustancias se encuentran separadas, podemos medir con facilidad esa fuerza comparada con la *presión atmosférica* y expresada con un barómetro en milímetros de mercurio.

Tenemos una cubeta dividida en dos partes por una membrana permeable solamente al agua con el mismo nivel en ambos lados (Fig. IV. 11). En una parte se vierte cierta cantidad de soluto (pongamos sal común): veremos cómo el agua pasa lentamente por la membrana hacia la disolución (pues esta membrana no permite el paso de los iones de la sal), subiendo el nivel de la disolución y quedando el del agua más bajo, hasta llegar a un punto donde los niveles no cambian. Si añadimos un puñado más de sal a la disolución, el nivel de ésta vuelve a subir en tanto que en el lado del agua baja por haber pasado de nuevo más cantidad a la disolución a través de la membrana (Fig. IV. 12).

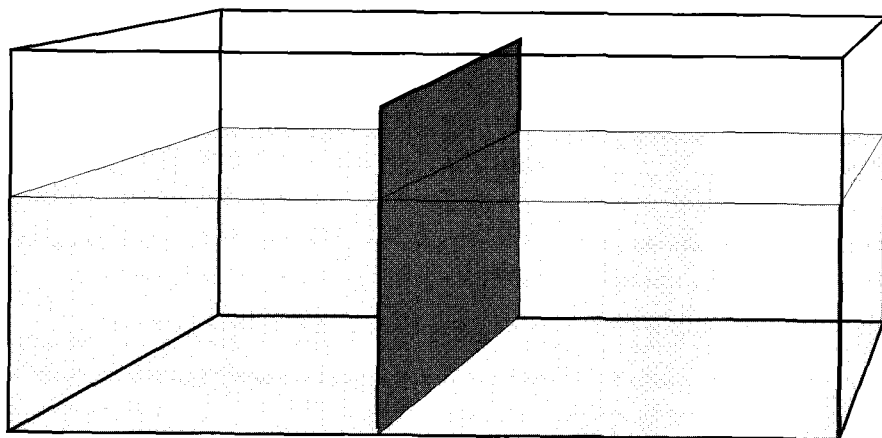


Figura IV.11.

Midiendo los niveles alcanzados por la zona de la disolución con relación al nivel rebajado por el lado del agua, podremos decir cuántos milímetros ha subido el agua, tanto en el primer intento como en el segundo (Fig. IV. 12).

De este experimento se deduce que cuanto mayor sea la concentración del soluto, mayor será la cantidad de agua que atraviesa la membrana dependiendo de la temperatura de la disolución, de la presión atmosférica y *fundamentalmente del tipo de membrana*.

El ejemplo expuesto se refiere a un caso simple de ósmosis, pero lo habitual es que dos disoluciones distintas se encuentren separadas por una membrana permeable a los solutos de sendos lados, de manera que se establece una corriente de solutos en ambos sentidos, cada cual tratando de equilibrar su concentración en cada lado de la membrana.

Ejemplo muy característico son las disoluciones y membranas del organismo, donde se dan gran variedad de casos, de disoluciones, de membranas más o menos permeables o selectivas, tales como: la pared capilar, la membrana celular, los glomérulos renales, aracnoides, cápsulas articulares, etcétera.

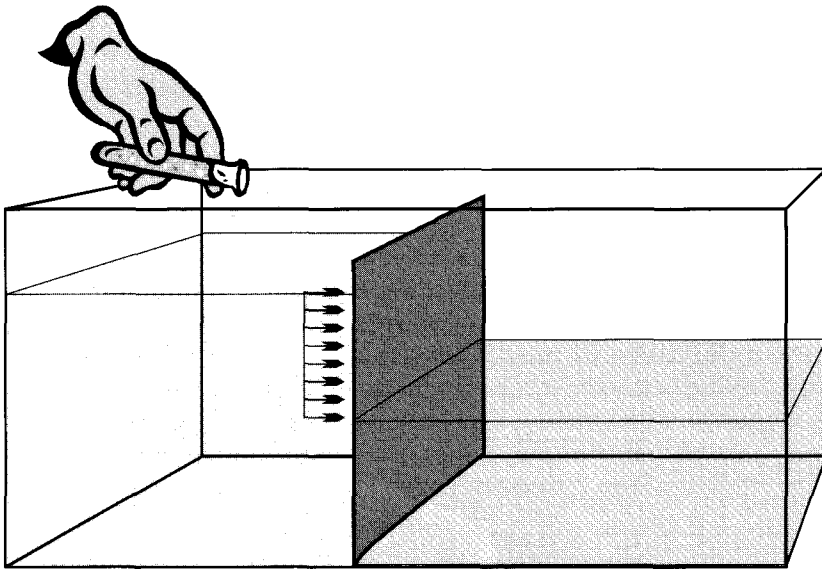


Figura IV.12.

Cuando entre dos disoluciones, una presenta mayor concentración que la otra, la primera recibe el nombre de hipertónica, mientras que la segunda, el de hipotónica.

Para que el proceso de ósmosis sea posible, se tienen que dar tres factores:

- 1) que los líquidos o disoluciones sean heterogéneos y susceptibles de mezclarse (el agua y el aceite no se pueden mezclar);
- 2) que los líquidos o disoluciones sean de distinta densidad;
- 3) que la membrana intermedia sea permeable por lo menos para uno de ellos (disolvente o soluto).

Planteémonos el siguiente caso: disponemos una cubeta preparada para que se realice un proceso de ósmosis, de manera que en un lado de la membrana tendremos moléculas de una determinada carga eléctrica y al otro lado de la membrana, las moléculas son de carga opuesta. La tendencia es de cruzarse en la membrana ambas sustancias para contrarrestarse mutuamente. Pero introducimos electrodos en cada lado de la disolución con idea de aplicar corriente galvánica. Nos encontramos con dos respuestas distintas:

- 1) si la polaridad de las moléculas es *la misma* que la polaridad del electrodo, las moléculas se verán rechazadas por ambos lados y el paso a través de la membrana será más rápido, dando un resultado final de desequilibrio e invertido a la situación de partida;
- 2) si la polaridad de las moléculas es *distinta* de la polaridad del electrodo, las moléculas se mantendrán próximas al electrodo frenando el paso a través de la membrana impidiendo el proceso de ósmosis.

Siendo ambos comportamientos parte de los sucesos que ocurren en el organismo vivo cuando aplicamos *galvanismo*, ello recibirá el nombre de *electroforesis*. De manera que la electroforesis interfiere directamente en el nivel de intercambios, presión osmótica, movimiento Browniano, generación de energía, etcétera.

## Acidez y alcalinidad

En las disoluciones complejas, como los líquidos orgánicos, hay gran variedad de enlaces electroquímicos entre elementos o abundancia y defecto de iones que *influyen en el medio que los sustenta*. Todas esas múltiples combinaciones se pueden resumir en tres tipos fundamentales:

- *sustancias ácidas o hidrácidos;*
- *sustancias básicas o hidróxidos (álcalis) y*
- *sales.*

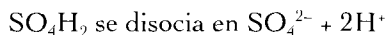
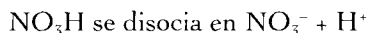
Dando lugar como consecuencia y respectivamente a:

- *medio ácido;*
- *medio alcalino;*
- *medio neutro.*

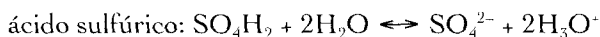
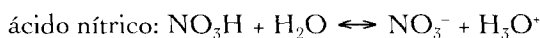
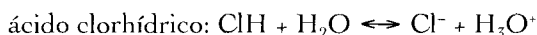
Para tratar de entender qué ocurre dentro del organismo humano cuando aplicamos electrólisis (electroforesis), nos pararemos, yendo por partes, para hacer un breve repaso de lo que es cada cosa:

## ÁCIDOS

Los ácidos son compuestos que en *disolución ceden* el ion  $H^+$ , de manera que, al disolverse en agua, se disocian en el elemento *no metal* ( $-$ ) +  $H^+$ , que es agregado a la molécula de agua:



Teniendo en cuenta la participación del agua, estas fórmulas quedarían como sigue:



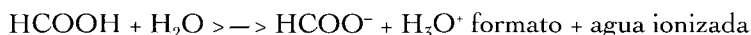
Es decir, que además de disociarse en radicales ionizados, también se crean moléculas de agua ionizada ( $H_3O^+$ ), molécula muy importante, ya que la abundancia de ella, nos indi-



cará el pH de forma que a mayor número de moléculas  $H_3O^+$ , mayor será la acidez, aunque la tabla de clasificación sea inversa, ya que la misma está compuesta por los logaritmos inversos.

El átomo de hidrógeno (H) está formado por un núcleo o protón más un electrón en su única órbita, así que, si pierde el electrón, solamente queda con la carga del protón convirtiéndose en un ion de  $H^+$  o también llamado *protón*. Por esto se define a los ácidos como los *elementos que liberan protones*.

Analicemos un caso muy interesante con el que podemos entender un fenómeno de la *iontoforesis* cuando aplicamos ácido fórmico (veneno de abeja):



La fórmula nos indica que la disolución ácido fórmico se debe aplicar bajo el electrodo (-) para que el *radical halogénico* sea rechazado al interior del cuerpo.

### Tipos de ácidos

Encontramos dos formas típicas en la formación de ácidos disueltos en agua, que son: *hidrácidos* y *oxácidos*.

- En los hidrácidos, el radical *no* metálico se asocia con el ion  $H^+$  para formarse.
- En los oxácidos, el radical *no* metálico se asocia con el  $OH^-$  para formarse.

Tanto en caso de los oxácidos como de los hidrácidos, cuando se tengan que neutralizar por un radical básico (metales alcalinos), serán sustituidos solamente los protones ( $H^+$ ).

En los hidrácidos, al liberarse el  $H^+$ , queda solamente la parte no metálica o *radical ácido*. Pero en los oxácidos, al liberarse el (o los)  $H^+$ , queda el radical ácido más oxígeno, compuesto que recibe el nombre de *resto halogénico*. Veamos unos ejemplos en la tabla IV. 4.

TABLA IV. 4

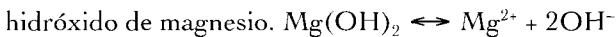
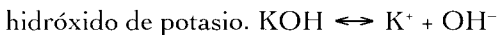
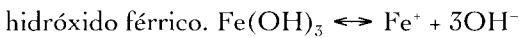
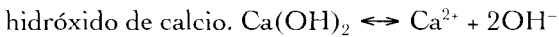
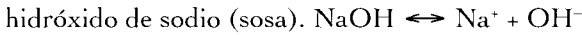
Fórmula resto ácido	Nombre del ácido	Resto halogénico	Nombre del resto halogénico
$ClO_3H$ $BrO_3H$ $IO_3H$ $NO_3H$	a. clórico a. brómico a. yódico a. nítrico	$ClO_3^{1-}$ $BrO_3^{1-}$ $IO_3^{1-}$ $NO_3^{1-}$	clorato bromato yodato nitrito
$CO_3H_2$ $CrO_4H_2$ $SO_4H_2$ $SiO_3H_2$	a. carbónico a. crómico a. sulfúrico a. metasilícico	$CO_3^{2-}$ $CrO_4^{2-}$ $SO_4^{2-}$ $SiO_3^{2-}$	carbonato cromato sulfato metasilicato
$BO_3H_3$ $AsO_4H_3$ $PO_4H_3$	a. bórico a. arsénico a. fosfórico	$Bo_3^{3-}$ $AsO_4^{3-}$ $PO_4^{3-}$	borato arseniato fosfato
$SiO_4H_4$	a. ortosilícico	$SiO_4^{4-}$	ortosilicato

## HIDRÓXIDOS O BASES

Las bases o álcalis son moléculas o elementos que *en su composición presentan el ion OH<sup>-</sup>* y que al disolverse se disocian en el elemento *metal (+) + OH<sup>-</sup>*, o también toman un protón de la molécula de agua para dejarla ionizada en forma de OH<sup>-</sup> o de otros elementos ácidos. Por el hecho de tomar protones de la molécula de agua (pasando H<sub>2</sub>O a HO<sup>-</sup>), y porque suelen estar formadas por metales más un oxhidrilo, reciben el nombre de hidróxidos.

Una característica muy importante (para nuestra aplicación), consiste en que al reaccionar con los ácidos generan *calor, una sal* y H<sub>2</sub>O. Razón que justifica el hecho por el cual, en la aplicación de galvanismo, en el cátodo se genere calor (y consiguiente vasodilatación) además de licuefacción de los líquidos orgánicos.

Partiendo de la disolución en agua veamos cómo se disocian algunos hidróxidos:

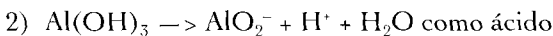
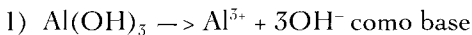


Las bases, igual que los ácidos, pueden ser: fuertes, débiles y muy débiles.

Algunas bases y ácidos muy débiles tienen un comportamiento ambivalente, de forma que, en unas ocasiones, se comportan como bases y en otras como ácidos dependiendo de la reacción y del pH del medio en que se encuentren: son los llamados electrolitos *anfóteros* o *anfóteros*. Este tipo de electrolitos ante los ácidos se comporta como bases, mientras que ante las bases se comportan como ácidos. En nuestra técnica de *iontoforesis* con frecuencia nos encontramos medicamentos indicados para utilizar como anfóteros, porque analizando circunstancias tenemos:

si dicho medicamento lo aplicamos bajo el cátodo, el medio que creamos bajo el electrodo es básico, por atraer los cationes (+), lo cual hará que al introducir el medicamento (si es que realmente introducimos el radical en cualquiera de los dos electrodos), se comporte como un ácido. Si la aplicación es bajo el ánodo, la reacción será la inversa.

Veamos el ejemplo del hidróxido de aluminio:



El agua es el anfótero más característico, ya que al disociarse lo hace en H<sup>+</sup> + OH<sup>-</sup> (Tabla IV. 5).

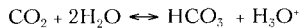
## SALES

Son sustancias o compuestos procedentes del enlace químico entre un radical ácido + un radical básico, neutralizándose mutuamente las características de ambas para dar unas

TABLA IV. 5  
ALGUNOS PARES DE ÁCIDOS-BASES

Ácido fuertes			Bases débiles
A. Per clórico	HClO <sub>4</sub>	ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Ion perclorato
A. Sulfúrico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Ion Hidróg. sulfato (bisulfato)
A. Iodhídrico	HI	I <sup>-</sup>	Ion yoduro
A. Bromhídrico	HBr	Br <sup>-</sup>	Ion bromuro
A. Clorhídrico	HCl	Cl <sup>-</sup>	Ion cloruro
A. Nítrico	HNO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ion nitrato
<b>Ion hidronio</b>	<b>H<sub>3</sub>O<sup>+</sup></b>	<b>H<sub>2</sub>O</b>	<b>Agua</b>
A. Tricloroacético	Cl <sub>3</sub> CCOOH	Cl <sub>3</sub> CCOO <sup>-</sup>	Ion tricloroacetato
Ion hidrógeno sulfato	HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ion sulfato
A. Fosfórico	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Ion di hidrógeno fosfato
A. Nitroso	HNO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Ion nitrito
A. Fluorhídrico	HF	F <sup>-</sup>	Ion fluoruro
A. Fórmico	HCOOH	HCOO <sup>-</sup>	Ion formiato
A. Acético	CH <sub>3</sub> COOH	CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	Ion acetato
A. Carbónico (*)	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ion hidrógeno carbonato (bicarbonato)
A. Sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	HS <sup>-</sup>	Ion hidrógeno sulfuro
A. Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>3</sub>	Amoníaco
Cianuro de hidrógeno	HCN	CN <sup>-</sup>	Ion cianuro
Ion hidrógeno sulfuro	HS <sup>-</sup>	S <sup>2-</sup>	Ion sulfuro
<b>Agua</b>	<b>H<sub>2</sub>O</b>	<b>OH<sup>-</sup></b>	<b>Ion hidróxido</b>
Amoníaco	NH <sub>3</sub>	NH <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Ion amida
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	H <sup>-</sup>	Ion hidruro
Ion meturo	CH <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CH <sub>4</sub>	Metano
<b>Ácidos débiles</b>			<b>Bases fuertes</b>

(\*) El ácido carbónico, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, nunca ha sido aislado. Una disolución de dióxido de carbono en agua es ácida en virtud del equilibrio:



Los ácidos que se hallan por encima del *hidronio* son ácidos fuertes; las bases que están por debajo del *hidróxido* son bases fuertes.

nuevas, propias de una *sal* + agua. Electroquímicamente hablando, podemos decir que consiste en transferir protones (H<sup>+</sup>) del ácido a la base, quedando libres los OH<sup>-</sup> que al unirse con H<sup>+</sup> libres, forman agua (H<sub>2</sub>O).

Dependiendo de si uno de los dos componentes es más fuerte que el otro, el resultado será una determinada cantidad de sal y la disolución en mayor o menor grado neutralizada, de

forma que si el ácido era el fuerte, el pH resultará bajo o ácido (por debajo de 7). Mientras que si la fuerte fue la base, el pH pasará a mayor que 7 (básico).

**Las disoluciones del organismo humano están muy próximas al pH neutro, lo que indican que dichas disoluciones están formadas preferentemente por sales.**

## HIDRÓLISIS

Hidrólisis es la disolución de sales en agua, con lo que la molécula de agua se disocia para tender a formar ácidos y bases dando lugar al valor de pH.

Para que todos entendamos el significado del valor numérico del pH lo definiremos como sigue:

**Numéricamente nos indica la cantidad de litros de disolución que contiene 1 gramo de iones de hidrógeno.**

La hidrólisis se fundamenta en cuatro reglas:

- 1) las disoluciones en agua de sales procedentes de *ácidos fuertes y bases débiles* tienen una reacción ácida (pH bajo);
- 2) las disoluciones en agua de sales procedentes de *ácidos débiles y bases fuertes* tienen reacción básica (pH alto);
- 3) las disoluciones en agua de sales procedentes de *ácidos fuertes y bases fuertes* tienen reacción neutra (un pH medio de 7);
- 4) las disoluciones en agua de sales procedentes de *ácidos débiles y bases débiles* tienen reacción neutra (un pH medio de 7).

Por esta razón, la molécula de agua en las disoluciones, normalmente no se encuentra como  $\text{H}_2\text{O}$  sino como  $\text{OH}^- + \text{H}^+$  o como  $\text{H}_3\text{O}^+$ , formas que le dan su fuerza disolvente tan importante en disoluciones orgánicas (hidrosolubles). Como ya se dijo, la fuerza disolvente del agua se encuentra en su efecto eléctrico como dipolo (Tabla IV. 6).

## REACCIONES REDOX

Toda reacción en la cual queda un elemento en estado de libertad o en la que otros elementos libres pasan al estado de compuestos, las denominaremos reacciones *Redox*.

Reciben este nombre las reacciones químicas cuando tenemos en consideración su valencia y su comportamiento eléctrico.

*Redox* procede de dos formas de reacciones, *REDucción* y *OXidación*, consistentes en que los iones con carga (+) reaccionan tomando electrones (*reducción*) y los iones con carga (-) reaccionan cediendo electrones (*oxidación*). Resumiendo:

### Oxidación

Es toda reacción química que suponga una pérdida de electrones y consiguiente pérdida de valencias (-). Reacción característica producida bajo el *ánodo* en el galvanismo, pues

TABLEA IV. 6  
SOLUBILIDAD DE COMPUESTOS COMUNES EN AGUA

Iones (-) Aniones	Con	Iones (+) Cationes	Solubilidad del compuesto
todos	con	iones alcalinos, Li <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Rb <sup>+</sup> , Cs <sup>+</sup> , Fr <sup>+</sup>	solubles
todos	con	ion hidrógeno H <sup>+</sup>	solubles
todos	con	ion amonio NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	solubles
nitrato, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	con	todos	solubles
acetato, CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	con	todos	solubles
cloruro Cl <sup>-</sup> bromuro, Br <sup>-</sup> yoduro, I <sup>-</sup>	con	Ag <sup>+</sup> , Pb <sup>2+</sup> , Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup> , Cu <sup>+</sup> , todos los restantes	poco solubles solubles
sulfato, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	con	Ca <sup>2+</sup> , Sr <sup>2+</sup> , Ba <sup>2+</sup> , Pb <sup>2+</sup> , Ra <sup>2+</sup> , todos los restantes	poco solubles solubles
sulfuro, S <sup>2-</sup>	con	iones alcalinos, H <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Be <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Sr <sup>2+</sup> , Ba <sup>2+</sup> , Ra <sup>2+</sup> , todos los restantes	solubles poco solubles
hidróxido, OH <sup>-</sup>	con	iones alcalinos, H <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Sr <sup>2+</sup> , Ba <sup>2+</sup> , Ra <sup>2+</sup> , todos los restantes	solubles poco solubles
fosfato, PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> carbonato, CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> sulfito, SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	con	iones alcalinos, H <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , todos los restantes	solubles poco solubles

el ánodo concentrará debajo de sí iones no metales (-), los cuales cederán sus electrones y quedarán como *radicales libres* o combinados con un metal, perdiendo su cualidad de iones. Si en la zona se hallan radicales metálicos saturados, estos retomarán su valencia o valencias (+).

### Reducción

Es toda reacción química que suponga una ganancia de electrones y ganancia de valencias (-). Reacción característica producida bajo el *cátodo* en el galvanismo, pues bajo este electrodo se acumulan radicales metálicos con valencia (+), los cuales tenderán a captar electrones de los radicales no metálicos o del electrodo. Si en la zona abundan los radicales no metálicos, éstos tienden a oxidarse.

El hidrógeno es un ion con un potente efecto reductor, pues, dada su avidez por el oxígeno o iones electronegativos, tenderá a disociarlos de los compuestos oxidados.

Las reacciones *redox* obedecen a la siguiente ley:

**Toda reacción en la cual queda un elemento en estado de valencia libre (ion o molécula ionizada) es *reducción*; y toda reacción en la que algún elemento en estado de valencia libre pasa a estado de compuesto (átomo o molécula neutralizada) es *oxidación*.**

En el *ánodo* se producen las reacciones químicas propias de *oxidación*, dado que los aniones (-) ceden sus electrones al electrodo (obligados desde el propio electrodo) o pueden reaccionar con el oxígeno para formar un compuesto no metálico o radical halogénico con poca capacidad de disolución (circunstancia importante y que explica la precipitación).

En el *cátodo* se producen las reacciones químicas propias de *reducción* porque los cationes (+) toman electrones del cátodo (obligados desde el electrodo) o de otros elementos, es decir, les aumenta la capacidad de poder asociarse con otros iones o moléculas ionizadas pudiendo proliferar en la zona muchos enlaces nuevos (circunstancia también importante y que explica el aumento de metabolismo en la zona).

Este doble fenómeno (que tiene relación directa con la generación o aplicación de electrones), se origina por sí sólo o lo podemos acelerar, pero con especial atención en lo siguiente:

- 1) cuando aplicamos una corriente eléctrica a la disolución (obligando desde los electrodos a las reacciones químicas en la disolución);
- 2) en otras ocasiones, son las *reacciones químicas* las que generan corriente en los electrodos.

El primer caso refleja el comportamiento de una célula o cubeta electrolítica (Fig. IV. 13), mientras que el segundo es una célula voltaica (Fig. IV. 14), según la cual, las reacciones

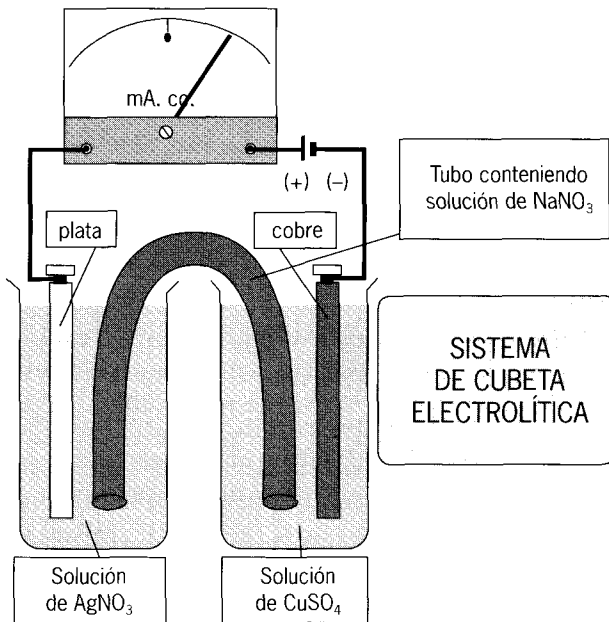


Figura IV.13.

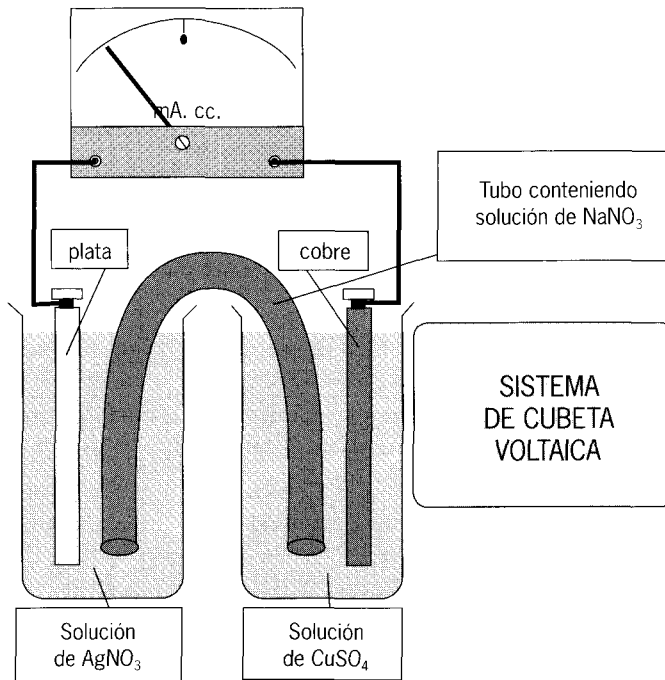


Figura IV.14.

químicas producidas por sí solas con los electrodos generan una corriente eléctrica en un hipotético circuito exterior que se colocará entre ambos electrodos.

Este doble fenómeno hace que, en el primer caso, el electrodo inyector de electrones hacia la disolución sea el cátodo y que, en el segundo, el electrodo inyector de electrones desde la disolución al exterior sea el ánodo. Situación que aparentemente puede llevar a una contradicción, pero no es así, ya que, de una manera u otra, el sentido de la corriente por el circuito completo y el movimiento de los iones en la disolución es el mismo salvo la diferencia fundamental, por la cual, en el primer caso los cambios son forzados e inversos (semejante a lo que hacemos con nuestro cuerpo) y en el segundo, los cambios se generan por sí solos y no tienen que ver con nuestra técnica de galvanismo.

Es el fenómeno de la pila o batería recargable: en la primera circunstancia cargaríamos la pila; en la segunda, haríamos trabajar la pila como elemento generador.

Todos estos fenómenos y otros más complejos se van a producir dentro del organismo cuando apliquemos corriente galvánica, herramienta que tenemos en nuestras manos, y de la cual tal vez no conozcamos todavía su auténtico poder y eficacia.

Y, sobre sus efectos, el saber y conocer cuáles, cuántos, en qué proporción, cómo actúan, qué produce su exceso, qué causa su desequilibrio, etc. Son éstas las razones y las llaves que nos pueden hacer entender la mayoría de los *efectos fisiológicos* producidos por las corrientes en nuestro organismo.

Nuestro organismo no es una cubeta de ensayo en la que podamos aislar tal o cual electrolito para ver sus respuestas. En las disoluciones orgánicas se encuentran simultáneamente multitud de iones y moléculas ionizadas en múltiples combinaciones (aunque hay algunas fundamentales), combinaciones constantemente cambiantes sometidas a fuerzas y equilibrios sutiles sin saber bien las consecuencias de su alteración.

Estas dudas exceden nuestras posibilidades y las de muchos estudiosos, a los cuales me gustaría incitarles desde aquí a que hagan sus aportaciones a la electroterapia para intentar ayudarnos a salir del empirismo y las vacilaciones.

## Isótopos

Los átomos o elementos de la tabla periódica reciben un nombre, pero muchos elementos se encuentran en la naturaleza con distintos pesos atómicos, es decir, el átomo está formado en el núcleo por *protones* y *neutrones*. El número de protones corresponde al de electrones, pero el de neutrones puede oscilar, dando como resultado un mismo elemento con distinto número de neutrones, los llamados *isótopos*.

El hidrógeno posee tres isótopos:

- el hidrógeno ligero con 1 neutrón;
- el deuterio con 2 neutrones;
- el triterio con 3 neutrones.

Así por ejemplo, en el organismo se dará especial importancia al  $H_1$ ,  $Na_{23}$ ,  $K_{39}$ ,  $P_{31}$ ,  $C_{12}$ , etcétera.

## Distribución de elementos inorgánicos en sistemas biológicos

Carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno son los más abundantes en los compuestos orgánicos de organismos vivos. En primer lugar el fósforo es uno de los elementos inorgánicos más frecuente y constituye una de las unidades fundamentales en la estructura de compuestos biológicamente activos (Fig. IV. 15).

El segundo lugar en abundancia corresponde a los siguientes elementos inorgánicos de no transición: sodio, potasio, magnesio, cloro, calcio y azufre. Los cuatro primeros son los principales componentes de los fluidos corporales y del citoplasma; el calcio es el elemento fundamental de las estructuras de sostén y el azufre forma parte de compuestos orgánicos. No se sabe que el sodio sea esencial para las plantas y, puesto que su contenido en las mencionadas plantas no es comparable al de potasio, se debe incorporar en forma de sal a la dieta de los animales.

En tercer lugar, se encuentran los elementos iodo, selenio y algunos de transición y postransición, tales como hierro, manganeso, cobalto, cobre, zinc y molibdeno. El selenio es esencial en la nutrición de ciertos animales. La única función conocida del iodo en los anima-



**TABLA PERIÓDICA DE ELEMENTOS HALLADOS EN LA MATERIA VIVA**

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	Xe	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi			
	Ra		Th		U												

menos que 0,05%     
  de 0,05 a 1%     
  de 1 a 60%

**ELEMENTOS ENCONTRADOS EN LA BIOSFERA (Wily, 1966)**

Figura IV.15.

les es la relacionada con su presencia en las hormonas del tiroides, la tiroxina y sus derivados. El yodo y el bromo se acumulan en algunas algas pardas, en celentéreos y otros organismos marinos. Aunque otros elementos, como aluminio, estroncio, bario, plomo, cadmio, arsénico y estaño, están generalmente presentes en el hombre y otros seres vivos, no se sabe que sean esenciales para el hombre ni para otros organismos.

En la tabla IV. 7 se puede observar un resumen del papel biológico de los elementos inorgánicos. El sodio y el potasio son muy semejantes en su comportamiento químico inorgánico, pero muy distintos en su actividad biológica e incluso antagonicos en muchos aspectos. Por ejemplo, el ion  $K^+$  aumenta la respiración en el tejido muscular y la velocidad de la síntesis proteica, mientras que el ion  $Na^+$  ejerce un efecto inhibitor de ambos procesos. El calcio es el componente principal de los huesos de los vertebrados, de las conchas de los moluscos y de la cáscara de los huevos de las aves. La naturaleza química del compuesto cálcico de los huesos se cree que es muy similar a la de hidroxiapatita,  $Ca(OH)_2 \cdot 3 Ca_3(PO_4)_2$ , mientras que el componente fundamental de los caparazones de los moluscos y cáscaras de huevo es el carbonato cálcico, en forma de calcita. Los iones  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$  actúan como centros de coordinación a través de grupos fosfato del ATP u otros mono o polinucleótidos, participando así en reacciones enzimáticas en las que intervienen dichos compuestos. Se cree, asimismo, que desempeñan un cierto papel en la estabilización de polinucleótidos. El ion  $Ca^{++}$  sirve como promotor de la contracción muscular y como mensajero para la acción hormonal.

Una de las características de los metales de transición es su capacidad para presentarse en distintos estados de oxidación, por lo que participan con frecuencia en proceso *Redox*. El hierro y el cobre actúan como centros activos de diversas metaloenzimas, catalizando procesos de transferencia electroquímica y reacciones de oxidación y oxigenación (reaccio-

TABLA IV. 7  
PAPEL BIOLÓGICO DE ALGUNOS ELEMENTOS

Elemento	Papel
<b>(Metales de no transición)</b>	
Na	Transmisión del impulso eléctrico; activador de ATPasa
K	
Mg	Activador de ATPasa, quinasa y otras encimas
Ca	Componente de huesos y caparazones, mensajero para la acción hormonal, propulsor de la contracción muscular, función estructural (en proteínas)
<b>(Metales de transición y postransición)</b>	
Fe	Centros activos de metaloencimas para procesos REDOX, oxigenación y proteínas transportadoras de O <sub>2</sub>
Cu	
Mo	Encimas REDOX y fijación de N <sub>2</sub>
Mn	Ácidos de Lewis
Co	
Zn*	
Co	Componente de la vitamina B <sub>12</sub>
<b>(Metales pesados)</b>	
Hg	Inhibidores de encimas
Pb	
As	
Cd	

\* El Zn tiene también función estructural.

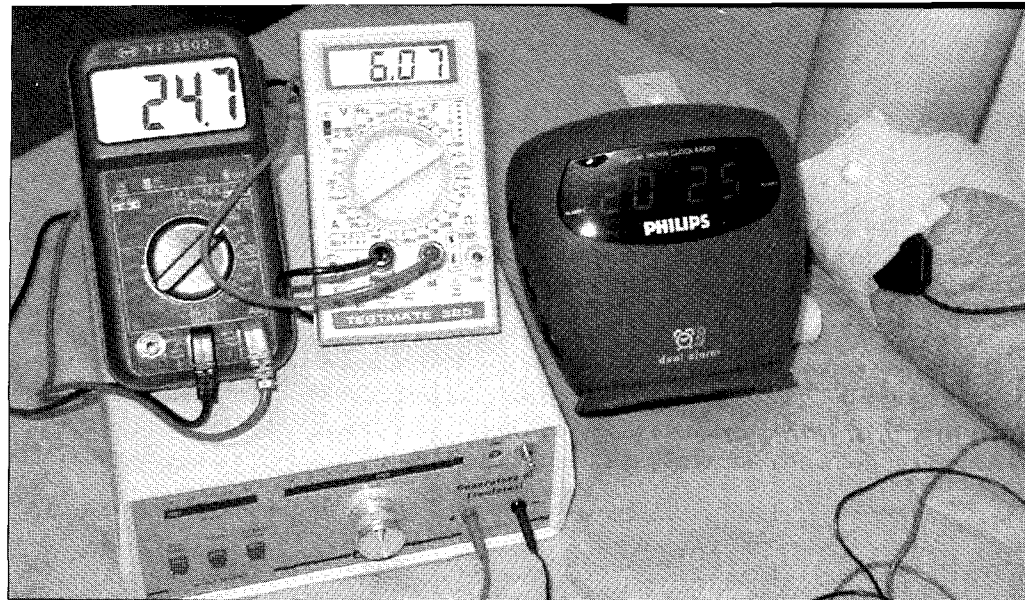
nes distintas). Son también los elementos usados por los organismos como centros activos de las proteínas transportadoras de oxígeno. Los iones metálicos, con excepción de los alcalinos, pueden actuar generalmente como ácidos de Lewis. Algunos metales de transición y postransición —especialmente manganeso, cobalto y cinc— constituyen los centros activos de enzimas catalizadoras de reacciones tales como hidrólisis, hidratación y descarboxilación de distintos compuestos.

No se sabe que los metales pesados sean esenciales para el organismo, sino que se caracterizan, más bien, por sus efectos perjudiciales.

# TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS

METALES LIGEROS		METALES DE TRANSICIÓN										NO METALES							GASES NOBLES
I A	II A	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII B	I B	II B	III A	IV A	V A	VI A	VII A	VIII A				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
H Hidrógeno	He Helio	Li Litio	Be Berilio	B Boro	C Carbono	N Nitrógeno	O Oxígeno	F Flúor	Ne Neón	Na Sodio	Mg Magnesio	Al Aluminio	Si Silicio	P Fósforo	S Azufre	Cl Cloro	Ar Argón		
K Potasio	Ca Calcio	Sc Escandio	Ti Titanio	V Vanadio	Cr Cromo	Mn Manganeso	Fe Hierro	Ni Níquel	Cu Cobre	Zn Zinc	Ga Galio	Ge Germanio	As Arsénico	Se Selenio	Br Bromo	Kr Kriptón			
Rb Rubidio	Sr Estroncio	Y Itorio	Zr Zirconio	Nb Niobio	Mo Molibdeno	Tc Tecnecio	Ru Rutenio	Rh Rodio	Pd Paladio	Ag Plata	Cd Cadmio	In Indio	Sn Estanio	Sb Antimonio	Te Teluro	I Yodo	Xe Xenón		
Cs Cesio	Ba Bario	57-71	Hf Hafnio	Ta Tántalo	W Wolframio	Re Renio	Os Osmio	Ir Iridio	Pt Platino	Au Oro	Hg Mercurio	Tl Talio	Pb Plomo	Bi Bismuto	Po Polonio	At Astatato	Rn Radón		
Fr Francio	Ra Radio	87	88	89-103	104	105													
		LANTÁNIDOS										ACTINIDOS							
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
		89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103			
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw			

Número atómico  
**20**  
Símbolo  
**Ca**  
Nombre  
**Calcio**



## CAPÍTULO V

# Galvanismo

Antes de entrar en el estudio y aplicación de la corriente *galvánica* (no entiendo el porqué de su nueva denominación, «corriente directa»), debemos detenernos en un somero análisis de la composición de la materia viva (véase capítulo IV).

La materia viva, por lo que al tema del galvanismo se refiere, está formada por células, tejidos y líquidos que contienen en disolución una amplia gama de sustancias y elementos químicos en forma de iones, de moléculas y de partículas en suspensión con carga eléctrica:

- células;
- agrupaciones de células en tejidos;
- disoluciones y
- dispersiones coloidales.

La célula, a su vez, está repleta de disoluciones en su interior y rodeada de disoluciones en su exterior, haciéndose este hecho extensivo para todos los tejidos.

En definitiva, la materia viva está compuesta por disoluciones y dispersiones separadas por membranas selectivamente permeables que generan gradientes o desequilibrios entre las proporciones de las distintas disoluciones próximas entre sí: *presión osmótica, presión oncótica, diferencia de potencial eléctrico, nivel de polarización*, etcétera.

Estos desequilibrios hacen que constantemente se estén produciendo reacciones químicas, nuevos diferenciales eléctricos e intercambio de iones, cuyo comportamiento es debido al constante intento de reequilibrar diferencias eléctricas o químicas, cumpliendo leyes metabólicas.

Es sabido que en una disolución, los iones (átomos con carga eléctrica) se dispersan por el medio y se asocian con otros próximos debido a las cargas eléctricas existentes entre ellos (atrayéndose, rechazándose u orientándose) (Fig. V. 1). Pero, ¿qué sucede cuando los iones se ven sometidos a una fuerza eléctrica mayor que la de sus iones vecinos? (Fig. V. 2).

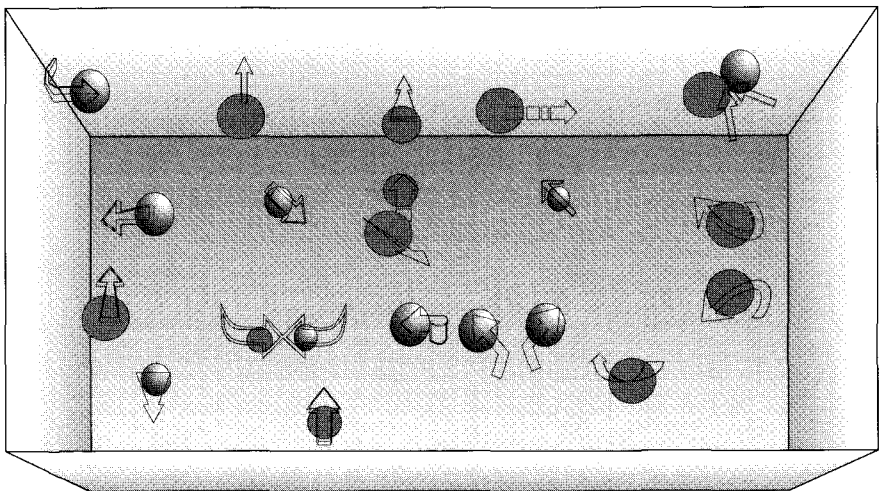


Figura V.1.

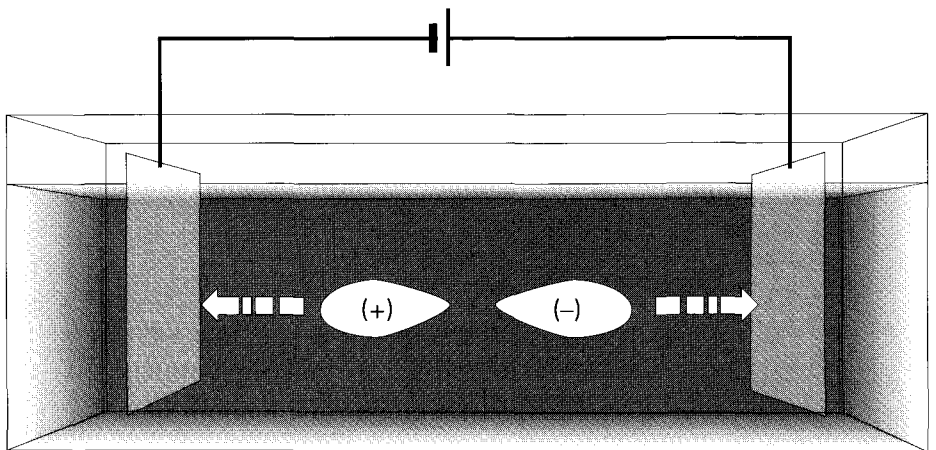


Figura V.2.

Lógicamente, emigran a través del disolvente que los sustenta hacia la fuerza eléctrica que los atrae o repele (de polaridad distinta a la del ion si son atraídos, o de la misma, si son repelidos).

Estos fenómenos reciben el nombre de *electroforesis*, que son aprovechados para producir una serie de efectos en el organismo que vamos a estudiar a partir de este punto.

En el organismo humano encontramos muchas disoluciones que están separadas del exterior por la gran membrana que es la piel, tales como:

- plasma sanguíneo;
- líquido intersticial;
- líquidos intracelulares;
- líquido cefalorraquídeo;
- líquido sinovial;
- jugos gástricos;
- orina;
- hormonas, etcétera.

Luego el cuerpo humano (materia viva animal) es una disolución que, además de los complejos proteínicos, contiene fundamentalmente:

- *sales* (las más abundantes);
- *ácidos* y
- *bases*.

Estas sustancias pueden llegar a ser disociadas químicamente al someterlas a una corriente de flujo constante, sin cambios de polaridad y superior a las fuerzas iónicas y moleculares: corriente continua o galvánica, no corriente directa (Fig. V. 3).

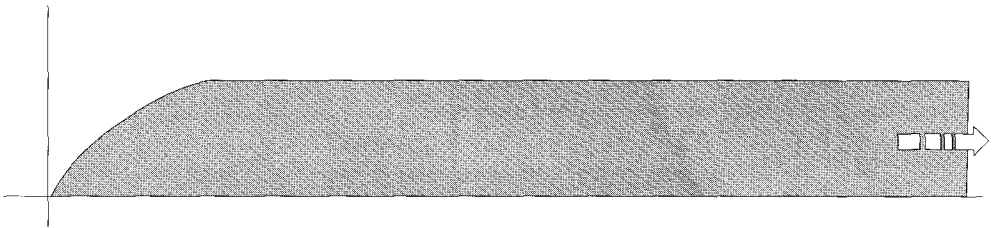


Figura V.3.

Este fenómeno hace que la materia viva se comporte como un *conductor de segundo orden* —donde se manifiestan cambios químicos— al contrario de lo que ocurre con los *conductores de primer orden* —que no manifiestan cambios químicos— como los metales.

Al aplicar al organismo humano la corriente eléctrica de la que se está tratando, para la técnica de galvanización, tenemos que realizarlo a través de la piel y con dos electrodos: *ánodo* y *cátodo*.

- el (+) *ánodo de carga positiva* (succiona electrones de la disolución por defecto en el electrodo);
- el (-) *cátodo de carga negativa* (deposita electrones en la disolución por exceso).

**¡Atención a la siguiente circunstancia!** *anión* y *cación* se derivan de *ánodo* y *cátodo*, respectivamente, pero el *anión* tiene polaridad *opuesta* al *ánodo* y el *cación* *opuesta* al *cátodo*. En realidad los iones reciben el nombre del electrodo al que se desplazan.

Al *ánodo* (+) vienen los *aniones* con carga (-).

Al *cátodo* (-) vienen los *cationes* con carga (+).

El *ánodo* (+) repele a los *cationes* de carga (+).

El *cátodo* (-) repele a los *aniones* de carga (-).

Estas interrelaciones entre los electrodos y los iones debemos tenerlas bien claras y dominarlas, ya que pueden dar lugar a cierta confusión.

Al alcanzar los iones su electrodo correspondiente, unos cederán electrones al electrodo (ánodo) dejando de ser iones, mientras que los otros tomarán electrones del electrodo (cátodo) también perdiendo su condición de iones, de manera tal que se establece un movimiento constante de electrones, mensurable como *corriente eléctrica* en mA, en mW o en julios si tenemos en cuenta el tiempo. No podemos olvidar que dicho desplazamiento de iones también genera calor.

## Efectos ascendente y descendente

En la terapia del galvanismo, uno de los efectos consiste en producir sedación o excitación en el sistema nervioso central, basado en el *sentido de circulación de la corriente* (de la cabeza a los pies o de los pies a la cabeza).

Dado que acabamos de ver cómo se mueven los iones, es el momento de estudiar detalladamente en qué consiste el *efecto ascendente* y el *efecto descendente*, con el fin de aclarar y evitar confusiones entre los conceptos indicados por la nomenclatura electroterápica y el movimiento real de la corriente de electrones por el organismo (Fig. V. 4).

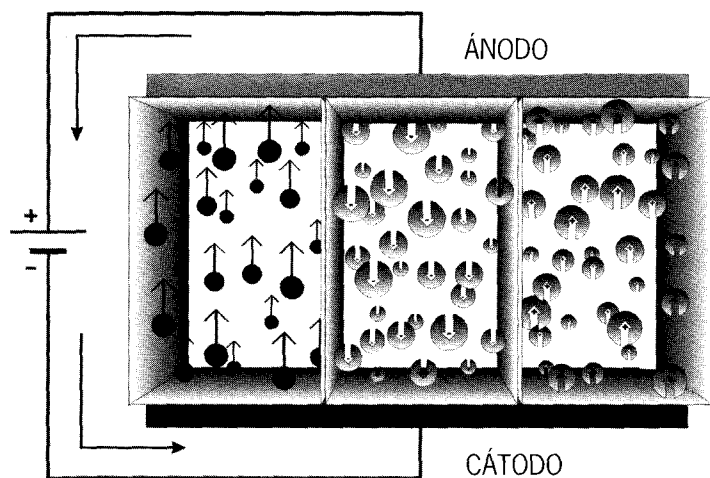


Figura V.4.

Esquemáticamente, tomemos una disolución variada y heterogénea, como puede ser la de nuestro cuerpo y aplicamos dos electrodos en lados opuestos (arriba y abajo). Sendos electrodos unidos a una pila, de manera que el *electrodo superior* será el ánodo (+) y el *inferior* el cátodo (-). Veamos en qué sentido se desplaza la corriente:

- 1) Siguiendo el concepto general por el cual la corriente va del cátodo (-) al ánodo (+), es decir, de donde abundan los electrones a donde hay déficit: (*sentido ascendente*).
- 2) Los *aniones* (-) se desplazan en sentido de *cátodo* hacia *ánodo*: (*sentido ascendente*).
- 3) Los *cationes* (+) se mueven de *ánodo* a *cátodo*: (*sentido descendente*).

Ante dicha situación, la técnica fisioterápica ha quedado estancada en los tiempos en que Leduc hizo el experimento con los peces (véase figura V. 5 que más adelante se detallará) sin evolucionar con los descubrimientos.

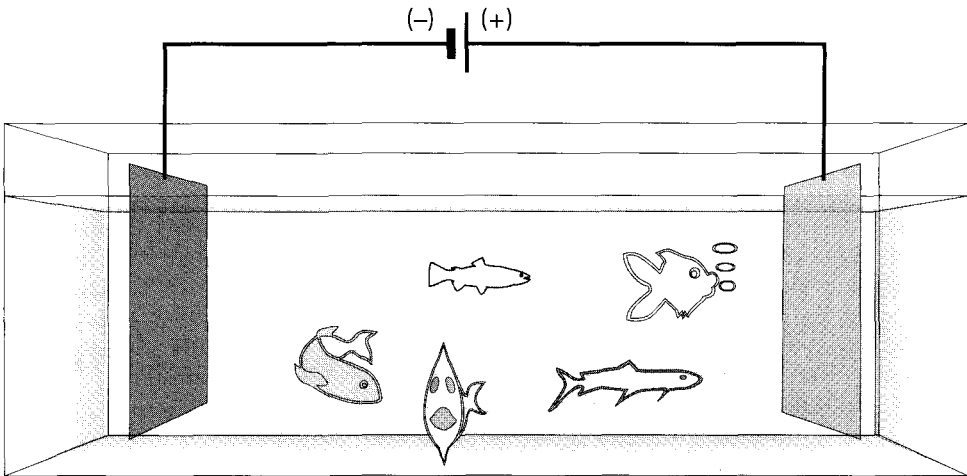


Figura V.5.

Todavía se sigue manteniendo dicha nomenclatura para algunos conceptos, dependiendo de los autores y del nivel o destino dado a los textos sobre el tema.

El caso es que, a pesar de lo dicho, se sigue aseverando que (Fig. V. 6):

- una corriente descendente (+) craneal y (-) distal es sedante y analgésica;
- una corriente ascendente (+) distal y (-) craneal es excitante del SNC.

Hablamos como si el organismo fuera una célula voltaica en lugar de ser una célula electrolítica.

Luego para no caer en error o en fallos de memorización, conviene dejar claro este tema por estar en juego los efectos de los tratamientos aplicados pues, ante un error, serían contrarios a los deseados.



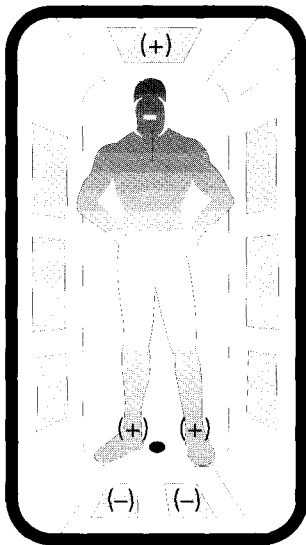


Figura V.6.

## Diferencia entre electrólisis y electroforesis

Cuando los iones consiguen entrar en contacto directo con el electrodo sumergido en la disolución, los distintos iones ceden o toman electrones del mismo, pierden su carga eléctrica, cambian sus características físicas y se adhieren al electrodo: hemos conseguido la *electrólisis* de una determinada sustancia (Fig. V. 7).

La puesta en movimiento o concentración de iones en las proximidades de los electrodos, *antes de entrar en contacto*, da lugar al fenómeno propio de *electroforesis*.

La piel y la gamuza humedecida harán de barrera para evitar la electrólisis en los electrodos metálicos, en cambio, conseguiremos concentración iónica y electroforesis.

## Fenómenos químicos del galvanismo

Lo último referido nos introduce de lleno en los *efectos de la corriente galvánica* sobre el organismo y, para entenderlo, recordaremos una reacción electrolítica muy clásica y habitual dentro del mismo.

Si disolvemos en agua una de las variadas *sales* que nos encontramos en las disoluciones orgánicas tomando como ejemplo el *cloruro sódico* ( $\text{ClNa}$ ), al entrar en contacto con el agua como disolvente, la sal se disocia en iones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  para acoplarse a la polaridad de las moléculas de agua (dipolos eléctricos) u otras moléculas e iones de signo eléctrico opuesto. Pero si aplicamos una corriente galvánica a través de electrodos *inertes* (electrodos que no sufren cambios químicos al ser sometidos a corriente eléctrica), se rompen los enlaces de los iones con las moléculas de agua para desplazarse los  $\text{Cl}^-$  hasta el ánodo y los  $\text{Na}^+$  hasta el cátodo, donde, por ejemplo, se producen las siguientes reacciones *electrolíticas* (Fig. V. 8):

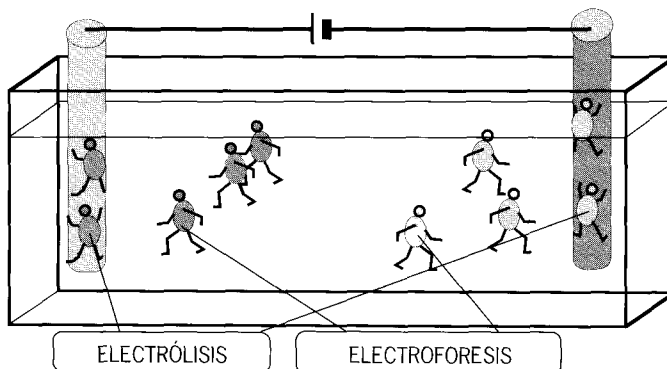


Figura V.7.

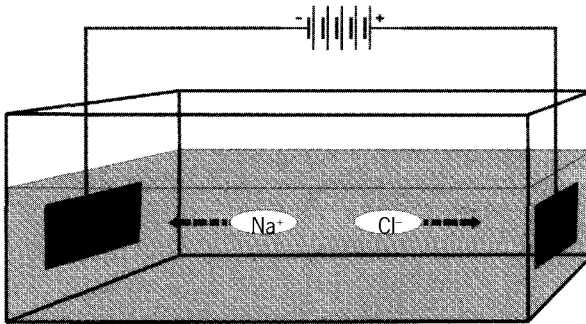


Figura V.8.

## ÁNODO

- *Oxidación.* Los aniones (-) tienden a reaccionar con el oxígeno, con otros elementos o con el electrodo ánodo, haciendo que el componente resultante *pierda electrones.*
- Los electrones abandonan por el electrodo la disolución y al ion que los contenía.
- En el ánodo, los iones  $\text{Cl}^-$  se convertirían en moléculas de cloro en forma de gas ( $\text{Cl}_2$ ) +  $2e^-$ :  $[2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 (\text{gas}) + 2e^-]$ .

## CÁTODO

- *Reducción.* Los cationes (+) al reaccionar con determinados elementos o ante el electrodo cátodo sufren un aumento de electrones.
- Los electrones penetran a través del electrodo en la disolución asociándose a los iones.
- En el cátodo, cada ion  $\text{Na}^+$  toma del electrodo un electrón para reducirse a elemento sodio (Na):  $[\text{Na}^+ + 1e^- \rightarrow \text{Na} (\text{sólido})]$  que se deposita en el electrodo. *Más adelante veremos cómo dentro del organismo, tanto en el ánodo como en el cátodo, no puede suceder así pues ello conduciría a quemaduras electroquímicas.*

No se ocasiona solamente electrólisis del cloruro sódico y otros iones, sino que también y simultáneamente se produce sobre el agua teniendo la reacción siguiente (Fig. V. 9):

## ÁNODO

En el ánodo, la unión de dos moléculas de agua  $2\text{H}_2\text{O}$  se oxida, dando como resultado oxígeno en forma de  $\text{O}_2$  gas + cuatro hidrógenos en forma de ion + cuatro electrones:  $[2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^-]$  y la disolución en las proximidades del ánodo se acidifica (por exceso de protones  $\text{H}^+$ ) que inician su emigración de inmediato hacia el cátodo.

## CÁTODO

En el cátodo, dos moléculas de agua toman dos electrones del electrodo, para sufrir la reacción en hidrógeno gas y dos oxidrilos con carga negativa, que, a su vez, pueden tener con-

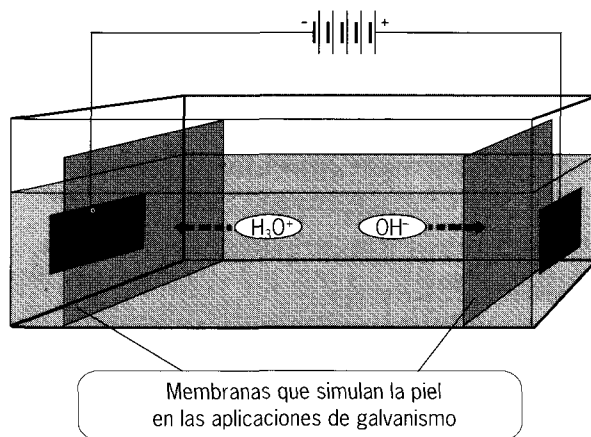


Figura V.9.

tacto químico con otros elementos,  $[2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{gas}) + 2\text{OH}^-]$ , y la disolución en las proximidades del cátodo se *alcaliniza* (por la abundancia de oxidrilos ( $\text{OH}^-$ )) los cuales, inmediatamente, inician el camino hacia el ánodo.

Las reacciones y cambios químicos que se producen en disoluciones y dispersiones complejas, como es el caso del organismo humano, son muy variadas, muchas desconocidas, y a veces inesperadas. Dado que una de las razones que influyen en ello es el voltaje más que la intensidad de la corriente aplicada, será el voltaje el generador de la fuerza que provoca el movimiento de los iones o ruptura de las moléculas complejas (fuerza electromotriz). Por otra parte, los equipos de galvanismo trabajan en *intensidad constante*, informando solamente de intensidad. No debemos apoyarnos únicamente en la información de la corriente o intensidad en mA, sino que debemos conocer también los voltios.

En general, podemos decir que cuanto menor sea la intensidad menor será el voltaje, pero éste depende de la resistencia del circuito de aplicación para obtener y trabajar con la potencia, la cual, si a su paso por la disolución es lo suficientemente débil, se dan situaciones de interfase en las que reaccionan unos iones con otros dando nuevos compuestos. Pero si la potencia es alta, la «presión para moverse» de los iones también lo es, creamos una situación que impide las zonas de interfase y se pueden acelerar reacciones no deseadas en el organismo.

**Es norma utilizar la Ley de Faraday para calcular y entender los efectos del galvanismo, aunque esta ley únicamente considera el número de electrones que circulan por un circuito, pero, si no sabemos cuál es la fuerza electromotriz, tampoco podremos saber sobre qué sustancias, moléculas o iones hemos actuado.**

Ante varias posibles reacciones electroforéticas, primero se realizará la que menos energía o fuerza electromotriz requiera manteniéndose simultáneamente la tendencia al máximo desorden.

Luego en una *electroforesis* con poca potencia ( $V \cdot I$ ) no se acumulan gran cantidad de iones del mismo signo en las proximidades de cada electrodo, sino que, al ir reaccionan-

do, se transforman en otros iones o moléculas de signo opuesto que inician la emigración hacia el polo opuesto. Circunstancia normalmente buscada y a tener en cuenta cuando apliquemos tratamientos con galvanismo.

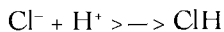
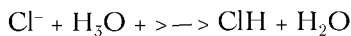
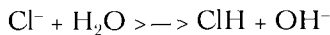
Otro de los factores a considerar en las reacciones electrolíticas y electroforéticas es el tipo de electrodos empleados; porque, si los electrodos son inertes, como es el caso de electrodos de grafito, las reacciones se limitarán a captar y ceder electrones, además de permitir el depósito de metales sobre ellos. Pero, si los electrodos, por su composición, pueden reaccionar químicamente descomponiéndose, van a ceder iones a la disolución, iones que influirán en los cambios químicos ocurridos dentro de la misma, pudiendo ser tóxicos para el organismo humano. El plomo o el estaño pueden ser tóxicos.

Por ello es importante saber e intentar utilizar los electrodos que interesen en cada caso o, como mínimo, emplear bastante gamuza humedecida entre el metal y la piel para que ésta absorba la mayoría de los iones procedentes del electrodo susceptibles de toxicidad.

Antes comentamos, entre signos de admiración, que no se deben producir dentro del organismo reacciones químicas que conduzcan a elementos o moléculas inertes (libres) o eléctricamente neutros, como el átomo de sodio sólido o el cloro gas, ya que siempre tienen que hallarse dentro de las disoluciones en forma de iones o compuestos moleculares con polaridad eléctrica. Por esta razón, el  $\text{ClNa}$  tiene que reaccionar con el  $\text{H}_2\text{O}$  antes que con el electrodo.

Partiremos de una premisa. En las disoluciones acuosas, la molécula de agua se halla en su fórmula de  $\text{H}_2\text{O}$  típica y en forma ionizada, es decir, la de un ion hidronio ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) + un oxidrilo ( $\text{OH}^-$ ) o la de un ion ( $\text{H}^+$ ) + ( $\text{OH}^-$ ). Según esto, se pueden dar varias circunstancias:

#### ÁNODO (+)



Si la potencia aplicada —teniendo en cuenta el mayor o menor voltaje o fuerza electromotriz— es lo suficientemente débil, permitirá que, a partir de un determinado acúmulo de ácido, éste sea apartado de la zona atraído por los dipolos de agua hacia una zona de interfase, donde nuevamente volverá a disociarse en iones  $\text{Cl}^-$  para formar una sal con otro radical metálico.

Si la potencia es alta, elevaremos en exceso la concentración de ácidos produciendo un pH tan bajo que atacará a la materia orgánica destruyéndola en forma de quemadura química ácida.

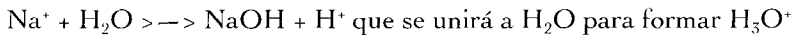
Si los oxidrilos se acumulan excesivamente en las proximidades del ánodo, presentarán la propiedad de ser poco solubles.

Además, varias sales orgánicas están formadas por iones cloruros, sulfuros, sulfatos, fosfatos, nitratos, etc., con lo que corremos el riesgo de que su concentración sea tan alta que se precipiten haciéndose insolubles o coagulados, e irriten las terminaciones nerviosas pro-

vocando sintomatología de dolor e inflamación. Por ello, en el ánodo se manifiesta mayor sensación de molestia cuando aplicamos galvánica.

## CÁTODO (-)

Contando, al igual que en el ánodo, con las tres formas de la molécula de agua, en el cátodo se combinará como sigue:



La sosa cáustica, por un lado, más los iones hidrógeno (protón) y agua ionizada (hidronio), por otro, que se pueden combinar con otros elementos o partículas que presenten valencia (-), van a crear un medio alcalino abundante en radicales de metales alcalinos importantes para el metabolismo celular ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ , pH alto, abundancia de agua, sin precipitados, disolución de precipitados ácidos, etc.). Estos hacen de la zona próxima al electrodo un medio intersticial más útil que en las cercanías del ánodo.

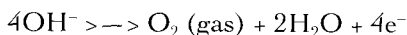
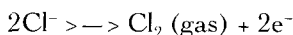
La cantidad de potencia aplicada vuelve a ser un factor importante en este electrodo, ya que, si es alta acumulará en la zona exceso de hidróxidos con su correspondiente acción destructora sobre los tejidos, mientras que si es la adecuada, se permitirá que los hidróxidos (llegado un nivel de concentración) emigren hacia una zona de interfase donde se disolverán de nuevo.

En la llamada zona de *interfase*, se redistribuyen y se disuelven de nuevo los elementos o moléculas formadas en las proximidades de los electrodos obligadas por las fuerzas eléctricas del disolvente y por disminuir, con la distancia, las fuerzas eléctricas de los electrodos de forma inversa al cuadrado de la distancia. Por lo expuesto, retoman el protagonismo las fuerzas eléctricas procedentes de los dipolos de las moléculas de agua y otros solutos. Situación que acelera los cambios iónicos y el metabolismo de la zona, propio de lo que después llamaremos efectos interpolares del galvanismo (Fig. V. 10).

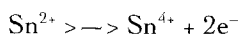
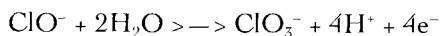
A título de ejemplo, veamos algunas reacciones típicas de *electrólisis* (no de electroforesis) que se dan en cada electrodo y siempre en cubetas de ensayo:

## ÁNODO

— *Oxidación* de un anión a elemento libre:



— *Oxidación* de un anión o un catión a otras especies en disolución:



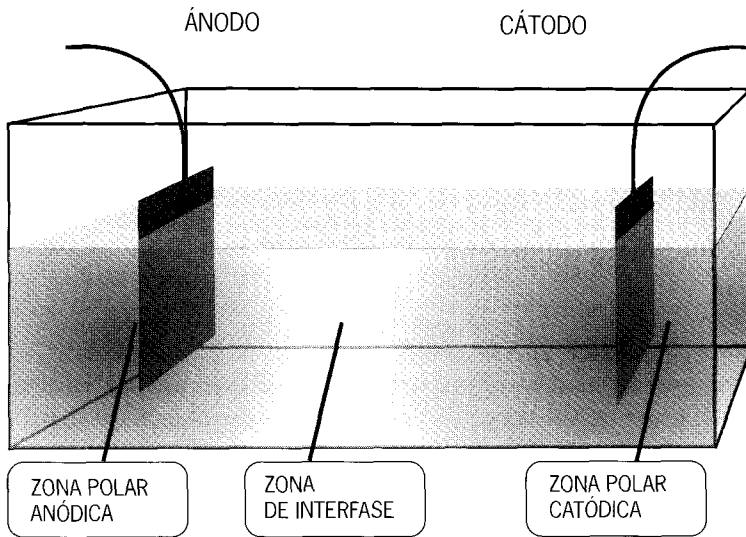
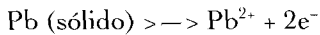
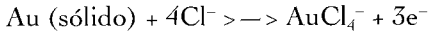
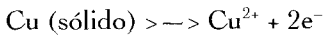
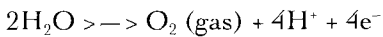


Figura V.10.

— Oxidación de un ánodo metálico:

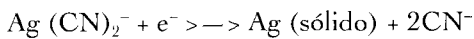
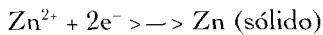


— Oxidación del agua:

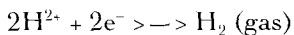
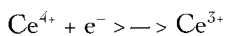
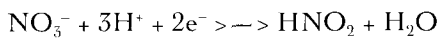


## CÁTODO

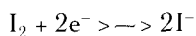
— Reducción de un catión o de un anión complejos a metal libre:



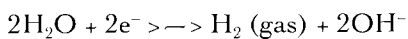
— Reducción de un anión o de un catión:



— Reducción de un elemento no metálico a anión:



— Reducción del agua:



Estos son ejemplos típicos de la Química que recordamos del bachillerato, más que de las reacciones propias que se realizan dentro del organismo, pero son suficientes como para indicarnos la complejidad de dichas reacciones y, hasta cierto punto, sus efectos concretos, ya que al aplicar una corriente galvánica a la materia viva, no actúa selectivamente sobre determinados iones o partículas ionizadas que nos pudieran interesar, sino que lo hace sobre todos ellos al mismo tiempo. Aunque la mayor o menor fuerza electromotriz (voltaje) influirá sobre una, algunas o todas las reacciones posibles.

Por otra parte, no tiene nada que ver la reacción *electrolítica* en el electrodo con la concentración *electroforética* en las proximidades. Si tratamos de identificar lo ocurrido en una cubeta de ensayo con el interior orgánico, estaremos errados.

Por ejemplo: si pretendemos averiguar con electrólisis la polaridad de un medicamento, partiendo de la base en que el electrodo alterado nos indica la polaridad del radical, prácticamente siempre resultará alterado el cátodo, pues en él se genera la reacción de reducción (fijación en forma de átomo neutralizado), salvo que el elemento alterado se transforme en gas y no se adhiera al electrodo.

## Efectos del galvanismo

Los efectos *electroforéticos* más importantes dentro del organismo serían:

### EFEECTO ELECTROFORÉTICO POR DISOCIACIÓN IÓNICA

Cuando los iones se sienten impulsados a moverse hacia los electrodos, tienen que disociarse de otros elementos o iones con los que se encontraban formando enlaces, de manera que los equilibrios químicos existentes hasta ese momento quedan alterados. Es decir, se dan cambios químicos al inicio del desplazamiento iónico.

### EFEECTO DE ALTERACIÓN METABÓLICA

Los cambios químicos y desequilibrios eléctricos que se producen al moverse los iones hacen que se aceleren o se frenen las reacciones metabólicas que antes pudieran estar poco activas o las muy activas se frenen. Cuando menos las antedichas reacciones; se alteran.

### EFEECTO DE HIDRÓLISIS

Cuando se han formado elementos atómicos nuevos y compuestos no iónicos nuevos cerca de los electrodos, si éstos alcanzan un nivel de concentración alto, son obligados a retroceder a una zona alejada de los electrodos para disolverse de nuevo bajo la influencia de las moléculas de agua (hidrólisis) dando nuevos iones que reemprenderán de inmediato su camino hacia el electrodo de signo contrario.

## EFECTO DE ELECTROSMOSIS

Consiste en el arrastre de agua, de proteínas u otras sustancias hacia o detrás de las concentraciones iónicas que se han producido, con su determinada carga eléctrica. Arrastre debido a la presión oncótica. Estos desplazamientos de elementos no ionizados o grandes micelas (no polarizados eléctricamente) se ocasionan con el fin de obtener el óptimo nivel de concentración de sustancias o presión osmótica de todas las moléculas.

## EFECTO ELECTROFORÉTICO SECUNDARIO

Cuando ha finalizado la sesión de tratamiento, hemos provocado desequilibrios electroquímicos dentro del organismo que, tras ello y por sí mismos, tenderán a reequilibrarse (a buscar la interfase). Dichos efectos secundarios producen reacciones inversas a las conseguidas con la corriente aplicada por el simple hecho de que los iones intentan volver a su estado metabólico lógico, moviéndose lentamente, volviendo sobre sus pasos hasta que se eliminen las concentraciones provocadas. Efecto que se lleva a cabo durante las horas siguientes a la sesión.

## EFECTOS POLARES

Reciben este calificativo por acentuarse los antes dichos bajo los electrodos (Tabla V. 1).

TABLA V. 1

Bajo el ánodo	Bajo el cátodo
Reacción ácida	Reacción alcalina
Oxidación	Reducción
pH bajo	pH alto
Liberación de protones ( $H^+$ )	Liberación de oxhidrilos ( $OH^-$ )
Concentración de aniones no metales (-)	Concentración de cationes metales (+)
Quemadura de tipo ácido	Quemadura alcalina
Coagulación	Licuefacción
Anaforesis rechazo de los iones (+)	Cataforesis rechazo de los iones (-)
Vasoconstricción	Vasodilatación
Sedación ¿?	Irritación ¿?
Nivel de polarización de membrana bajo	Nivel de polarización de membrana alto
Actividad metabólica baja	Actividad metabólica alta
Absorción de calor	Liberación de calor
Abundancia de algunos iones (-) como $Cl^-$ , $2Cl^-$ , $OH^-$	Abundancia de algunos iones (+) como $Na^+$ , $Ca^{++}$ , $K^+$ , $H_3O^+$
Se aplica en procesos de ITIS	Se aplica en procesos de OSIS



Sedación e irritación se encuentran seguidas de interrogaciones indicando una llamada de atención, ya que se puede dar el fenómeno inverso, el cual será analizado.

Todas estas referencias de efectos *físicos, químicos, eléctricos y biológicos* van a producir una serie de respuestas.

## Respuestas orgánicas al galvanismo

A. *Metabolismo.*

B. *Riego circulatorio y linfático y*

C. *Reacciones del sistema nervioso:*

— *vegetativas;*

— *sensitivas;*

— *motoras;*

— *SNC.*

### A. EFECTOS DE RESPUESTA METABÓLICA

Los movimientos de iones, de electrones y ruptura de moléculas, recomposiciones químicas, aumentos y disminuciones de sustancias, aumentos y disminuciones de agua, cambios de equilibrios electroquímicos, cambios en los gradientes de concentración de solutos, etc.: estos mecanismos, y otros menos conocidos e imprevistos, **alteran**:

- la composición del líquido intersticial, pH ácido en el ánodo y pH alcalino en el cátodo;
- la composición del líquido intracelular;
- los niveles de polarización de la membrana celular;
- la rapidez o lentitud de intercambios metabólicos y, tal vez, reacciones no imaginadas, ya que el galvanismo afecta a toda sustancia que se encuentre en su camino: hormonas, proteínas, disoluciones y otros agentes químicos, de los cuales habría que buscar más a fondo sus posibles efectos beneficiosos o perniciosos;
- aumento de la temperatura en ambos electrodos, más en el cátodo, lo que acentúa la vasodilatación, la extravasación, el intercambio, la nutrición y aporte energético de los tejidos.

Estas alteraciones químicas serán las causantes de las quemaduras, si la intensidad (mejor potencia) fuera suficientemente alta o el tiempo de la sesión lo bastante largo como para llegar a romper totalmente las moléculas orgánicas y despolarizar las células dando lugar a quemaduras químicas de tipo ácido (secas y coaguladas) en el ánodo o alcalinas (húmedas y blandas) en el cátodo (difíciles de cicatrizar en ambos casos). Ante la despolarización de membrana, las células serán condenadas a su muerte y destrucción.

Normalmente, será en las proximidades del cátodo donde se acentúe el metabolismo, ya que se crea un pH en el líquido intercelular que favorece los niveles de polarización celular y su mejor trabajo. Además, se acumulan los cationes más importantes o iones metálicos que controlan las funciones básicas de la célula, mientras que en el ánodo van a escasear frenándose la actividad celular.

Antes de proseguir (para contribuir al entendimiento de los anteriores párrafos) se debe aclarar que el desequilibrio eléctrico entre el plasma sanguíneo (intravascular) y el líquido intersticial es de 1 mV, ((-) para el plasma). Y que el desequilibrio eléctrico entre el interior de la célula y el líquido intersticial está entre 10 a 100 mV, ((-) en el interior de la célula).

Según esto, el líquido intersticial debe tener carga (+) con relación al intracelular principalmente y al plasma sanguíneo en menor proporción.

Examinemos someramente y gráficamente en un esquema lo que ocurre entre el líquido intersticial, el interior de la célula, la membrana celular y los electrodos del galvanismo...

**Situación de reposo celular.** Los electrolitos que componen los líquidos intracelular y extracelular fundamentalmente son:

- **Cationes (+).** Sodio ( $\text{Na}^+$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ), calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ). (El  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  normalmente se encuentran formando enlaces con proteínas o ácidos grasos). También forman parte del grupo de CATIONES, cadenas proteínicas u otras sustancias complejas con carga iónica.
- **Aniones (-).** Cloro ( $\text{Cl}^-$ ) y bicarbonato ( $\text{CO}_3\text{H}^-$ ) fundamentalmente, además de fosfatos, lactatos, sulfatos y proteínas propias de cada célula, como puede ser la hemoglobina en los glóbulos rojos, carmosina o histidina en las fibras musculares, etc. que contrarrestan la fuerza eléctrica de los cationes situándose al otro lado de la membrana celular para crear el gradiente de polaridad o polarización celular. También forman parte de este grupo de *aniones* (-) muchas de las sustancias procedentes de los desechos del metabolismo celular, los cuales, de encontrarse en el líquido intersticial, anularán parte de las cargas (+) disminuyendo el nivel de polarización celular y acidificando el medio.

Tanto los *cationes* como los *aniones* forman parte de los líquidos intracelular y extracelular. La mayoría de ellos son característicos de un líquido o lugar, como:

- el sodio ( $\text{Na}^+$ ), abunda preferentemente *fuera* de la célula;
- el potasio ( $\text{K}^+$ ), abunda fundamentalmente *dentro* de la célula;
- el calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ), asociado a proteínas de la membrana y en pequeñas cantidades libres;
- el magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ), asociado a proteínas en las fibras musculares y nerviosas, en su líquido intracelular;
- el cloro ( $\text{Cl}^-$ ), en el líquido intersticial;
- el bicarbonato ( $\text{CO}_3\text{H}^-$ ), *fuera* de la célula y

- la variedad de proteínas que se encuentran dentro de la célula con polaridad negativa y que son características de cada función propia a cada tejido o grupo celular.

La distribución de iones en algunos líquidos del ser humano se encuentran concentrados según la figura V. 11.

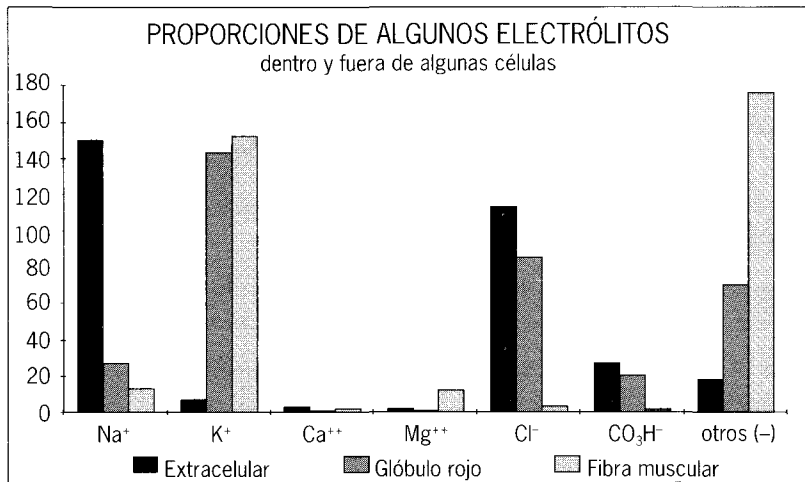


Figura V.11.

Esta situación produce que:

- en el centro de las células predominen cargas positivas (+);
- inmediatamente por dentro de la membrana, carga negativa (-);
- inmediatamente por fuera de la membrana que sea carga positiva (+) y
- alejado de la membrana, en el líquido intersticial, la carga vuelve a ser relativamente negativa (-), por expresarlo de forma didáctica, ya que en realidad las diferencias en concentración de iones no son tan marcadas, sino que es cuestión de porcentajes o abundancia de unos sobre otros.

Las cargas (-) de dentro de la membrana y las cargas (+) de fuera de la membrana, son las que establecen la diferencia de potencial o polarización de membrana en mV, encontrándose la célula en reposo y sin cambios químicos (Fig. V. 12).

Analícemos ahora qué ocurre cuando al esquema de la célula en reposo le aplicamos galvanismo (suponiendo y descartando que no llegamos a influir directamente en el interior de la célula), quedándonos en los cambios del líquido intersticial (Fig. V. 13):

- a) el sodio (Na<sup>+</sup>), el calcio (Ca<sup>++</sup>) y sustancias orgánicas de polaridad (+) se acercan al cátodo o se alejan del ánodo;
- b) los cloruros, el bicarbonato, los fosfatos, lactatos sulfatos y sustancias de carga (-) se alejan del cátodo para concentrarse en el ánodo.

Veamos la tabla V. 2 tomada del *Tratado de fisiología Guyton* donde se pone de manifiesto la proporción entre los distintos componentes y solutos en los líquidos intersticial e intracelular.

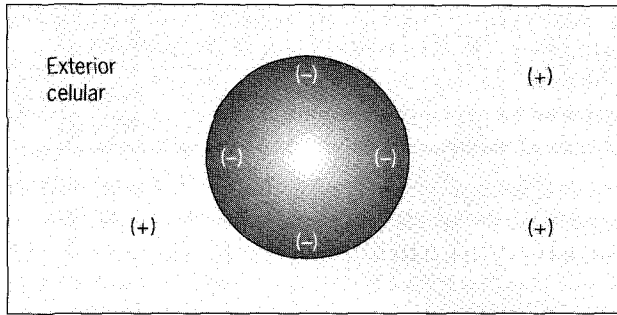


Figura V.12.

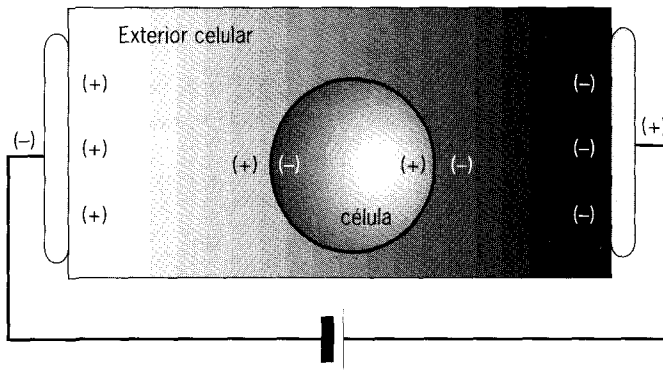


Figura V.15.

TABLA V. 2

Componente	Líquido intersticial	Líquido intracelular
Na <sup>+</sup>	142 mEq/L	10 mEq/L
K <sup>+</sup>	4 mEq/L	140 mEq/L
Ca <sup>++</sup>	5 mEq/L	< 1 mEq/L
Mg <sup>++</sup>	3 mEq/L	58 mEq/L
Cl <sup>-</sup>	103 mEq/L	4 mEq/L
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	28 mEq/L	10 mEq/L
Fosfatos	4 mEq/L	75 mEq/L
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1 mEq/L	2 mEq/L
Glucosa	90 mg%	de 0 a 20 mg%
Aminoácidos	30 mg%	200 mg%?
<b>Colesterol</b>		
Fosfolípidos	0,5 g%	2 a 95 g%
<b>Grasa neutra</b>		
PO <sub>2</sub>	35 mm Hg	¿20 mm Hg?
PCO <sub>2</sub>	46 mm Hg	¿50 mm Hg?
pH	7,4	7,0
Proteínas	2 g%	16 g%
	(5 mEq/L)	(40 mEq/L)

En el momento que se producen cambios bruscos dentro o fuera de la célula muscular o nerviosa, normalmente fuera, se ocasionan desequilibrios eléctricos también bruscos que despolarizan la membrana, dejando ésta pasar iones. Se realiza el trabajo encomendado a la célula y posteriormente se repolariza la membrana expulsando fuera al sodio y absorbiendo potasio mediante el mecanismo de «bomba de sodio potasio».

Es interesante observar que la célula no es otra cosa que un *condensador* eléctrico en el que se encuentran cargas eléctricas opuestas separadas por un dieléctrico que, en este caso, es la membrana celular, pero dicha membrana se puede transformar rápidamente en conductora.

Parece que el interruptor que convierte a la membrana en aislante o en conductora es el ion calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ), el cual actúa de barrera eléctrica cuando se encuentra asociado a las cadenas proteicas de la membrana y permite la conducción cuando se separa de las proteínas (Fig. V. 14) (Tabla V. 3).

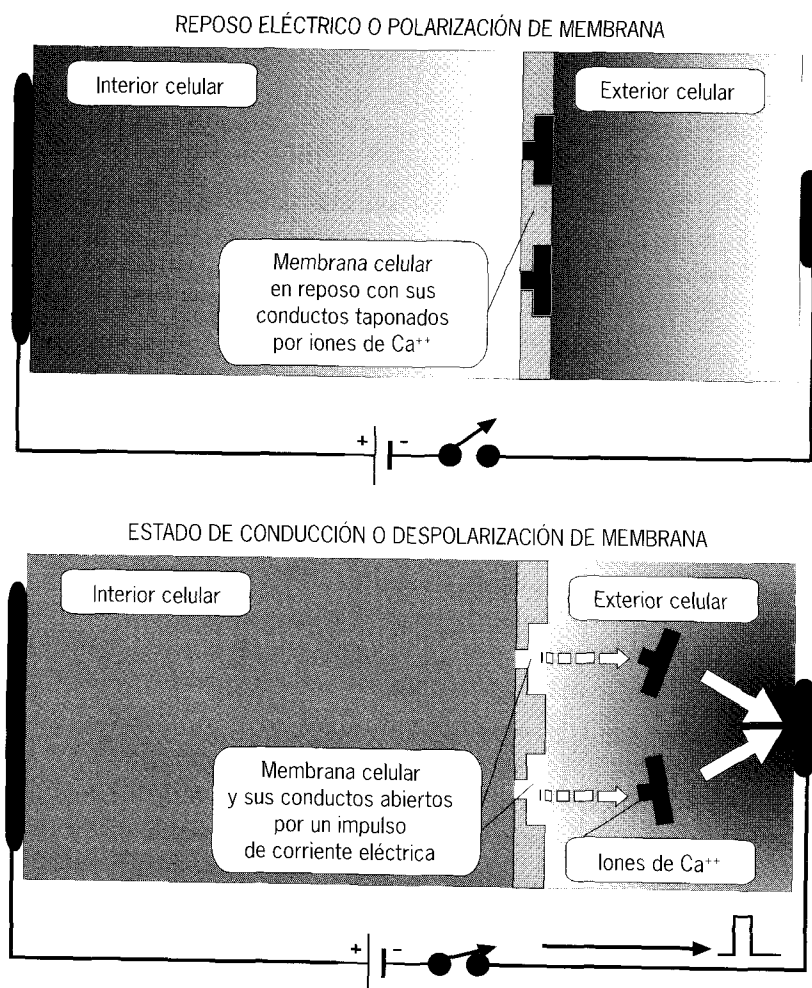


Figura V.14.

TABLA V. 3  
PAPEL BIOLÓGICO DEL Na, K, Mg y Ca

Catión	Efectos sobre las encimas y el metabolismo	Otras funciones
K <sup>+</sup>	Activa la respiración en el músculo, riñón, tejido adiposo y en el heritrocito. Activa la <i>piruvatoquinasa</i> , la síntesis proteica (en ribosomas), la síntesis de acetilcolina, la ATPasa Na/K	Controla la presión osmótica de las células
Na <sup>+</sup>	Inhibe los procesos metabólicos mencionados arriba. Activa la ATPasa Na/K y la bomba de sodio-potasio	Controla la presión osmótica de las células. Participa en la absorción de glucosa y aminoácidos a través de las células de la mucosa. Es activo en el funcionamiento nervioso
Mg <sup>++</sup>	Activa las quinastas como la <i>hexoquinasa</i> , <i>glucoquinasa</i> , <i>fosforriboquinasa</i> , <i>piridoxal-quinasa</i> , <i>pirubato</i> , <i>carboxilasa</i> y otras	Estabiliza el RNA y el DNA
Ca <sup>++</sup>	Es un factor esencial para la alfa-amilasa, estabiliza el DNAasa y proteinasa microbiana. Activa la protrombina y el tripsinógeno	Estimula la actividad de los sistemas en las membranas, la mitosis y la transformación de los linfocitos. Provoca la liberación de hormonas y la contracción muscular. Es un factor estructural en los huesos, dientes, caparzones, etcétera.

Como vemos, las sales de calcio y potasio son importantes para el nervio y músculo: el potasio dentro de la célula y el calcio en la membrana, ya que cuando aparece déficit de calcio, se producen parálisis o enlentecimientos en las funciones neuromusculares.

**La concentración de iones metálicos (+) alcaliniza ligeramente el pH y las fibras nerviosas o musculares resultan favorecidas. La acidez produce retardo y relajación de los músculos lisos, a la vez, que fatiga a los estriados.**

Si se sitúa un músculo o nervio en una disolución que contenga una concentración demasiado alta de iones *potasio*, por ejemplo, *solución Ringer* con contenido triple de cloruro potásico: ambos se hacen inexcitables. Pueden volver a ser excitables llevando los nervios y músculos, sometidos a prueba, a una disolución Ringer normal. Se han eliminado el exceso de sales potásicas y vuelven a recuperar su función.

## B. EFECTOS CIRCULATORIOS Y LINFÁTICOS

Por la anterior respuesta metabólica...

- Se rompen los gradientes de presión osmótica entre el líquido intersticial y el interior de los vasos sanguíneos, provocando mayor o menor intercambio de sustancias nutritivas o reparadoras.
- Además, el cátodo produce vasodilatación (con aumento de la diapédesis).
- Licuefacción bajo el cátodo impidiendo la coagulación o precipitado de moléculas allí concentradas, además de un aumento de extravasación de sustancias plasmáticas.
- Por efecto irritante del cátodo, los pequeños vasos responden con vasodilatación como mecanismo de respuesta ante una agresión.
- En el ánodo, el líquido intersticial se densifica por falta de agua y se hace más difícil su intercambio iónico de sustancias con los vasos sanguíneos que, además, están constreñidos, se dificulta el movimiento Browniano así como el desplazamiento de linfa.
- La cataforesis moviliza en las proximidades del cátodo sustancias propias de los residuos del catabolismo (metabolismo energético), favoreciendo la eliminación de dichas sustancias irritantes, por vía sanguínea y linfática.

El calor generado bajo los electrodos es debido a los cambios químicos y a la irritación que, sobre la piel y terminaciones nerviosas sensitivas, produce el paso de electrones. Secundariamente, contribuirá a aumentar el calor la vasodilatación de respuesta a dicha agresión o, también, como efecto termorregulador.

Reiterando y resumiendo nuevamente los desequilibrios más llamativos provocados en las zonas polares influyentes en los desplazamientos linfáticos o sanguíneos, tenemos:

### EN EL CÁTODO

- Aumenta la cantidad de agua ( $H_2O^+$ ).
- Aumenta la concentración de sodio ( $Na^+$ ).
- Aumenta el nivel de polarización de membrana.
- Se alcaliniza la zona.
- Disminuye el dióxido de carbono.
- Aumenta la polarización en la pared capilar.
- Se extravasa agua del plasma sanguíneo a la linfa.
- Se acentúa el paso de aniones (-) del plasma al líquido intersticial para equilibrar la concentración de cationes (+).
- Aumenta la actividad metabólica, el calor y la vasodilatación.

## EN EL ÁNODO

- Aumenta la concentración de cloruros, bicarbonato, dióxido de carbono y en general aniones de carga (-).
- Disminuye el nivel de polarización de membrana.
- Disminuye, o se invierte, la polarización con respecto a la pared vascular.
- Pasa agua del líquido intersticial a los vasos.
- Pasarían los aniones (concentrados en la zona) al caudal sanguíneo, pero se suelen encontrar en estado de gel impidiendo su movilidad y la pared capilar es menos permeable a éstos que al agua.
- Se frena la actividad metabólica.
- Se produce coagulación proteica y vasoconstricción.

## C. EFECTOS SOBRE EL SISTEMA NERVIOSO

Hasta este momento nos hemos centrado en respuestas del metabolismo ante el galvanismo y respuestas del organismo a los cambios metabólicos debidos al galvanismo. Dichas respuestas son controladas por el *sistema nervioso vegetativo* pero, además, en las zonas tratadas existen terminaciones nerviosas sensitivas, motoras, axones y cuerpos neuronales sufriendo el paso del galvanismo y sus correspondientes alteraciones.

### Sistema nervioso sensitivo

Las terminaciones sensitivas de las zonas situadas bajo los electrodos se verán influenciadas por los cambios que junto a ellas se produzcan, de forma que, bajo el cátodo se acumulan los iones (+), fundamentalmente *sodio* y *calcio*, haciendo que aumente el umbral o nivel de polarización de membrana, por lo que será más difícil superar o romper dicho umbral. Pero, a la vez, las condiciones electroquímicas creadas son las ideales para una respuesta rápida y eficaz ante los estímulos.

Las terminaciones sensitivas colocadas bajo el ánodo serán envueltas por sustancias e iones con carga (-) que disminuyen el nivel de polarización (recordemos que dentro de la célula es (-) también) fácil de superar y difíciles de despolarizar quedando las terminaciones condicionadas a respuestas lentas y débiles por los bajos gradientes iónicos.

Estos mecanismos son los llamados *cataelectrotono* y *anaelectrotono*, para el cátodo y el ánodo respectivamente. Si observamos con atención, tanto en el cátodo como en el ánodo, se pueden dar efectos analgésicos (recordemos que en la tabla resumen de efectos polares, la sedación y excitación se acompañan de interrogaciones). Veamos cómo pueden desarrollarse los referidos efectos analgésicos.



- En el cátodo sube el umbral de polarización, lo cual hace más difícil que los estímulos dolorosos lo superen y rompan, pero si el dolor estaba producido por estímulos que ahora quedan por debajo del umbral, el dolor desaparece. En cambio, si el estímulo doloroso sigue siendo mayor que el umbral, despolarizará la membrana y será conducido con mayor eficacia.

El efecto analgésico del cátodo se ve mejorado por el efecto *electroforético* (rechazo de iones del mismo signo), ya que las sustancias irritantes son desplazadas de la zona (sustancias que podían ser la causa del dolor localizado y cronificado).

Luego la analgesia del cátodo se dará cuando los dolores sean de origen químico por acúmulo de *catabolitos* procedentes de procesos cronificados, desechos metabólicos acumulados o deficiencias de riego e intercambios de nutrientes por radicales libres. Estos dolores son leves...

- Bajo el ánodo, por el hecho de bajar el nivel de polarización, será más fácil despolarizar la membrana y los estímulos débiles lo conseguirán. Pero las condiciones metabólicas son tan desfavorables que la despolarización y transmisión se verá muy dificultada y el impulso se pierde, creándose una zona de hipoestesia que nos será muy útil en los momentos y estados agudos cuando el foco de la lesión manifiesta hipersensibilidad.

Entonces, se conseguirá la analgesia en momentos de metabolismo excesivo por inflamación aguda, situaciones en que los estímulos de los mecanorreceptores de la propiocepción o deformación de tejidos, en lugar de transmitir estímulos de deformación o propiocepción, transmiten esos mismos estímulos como dolorosos. Dolores más intensos e inhibidores de la actividad funcional que los crónicos.

### **Sistema nervioso motor**

Los efectos de *cataelectrotono* y de *anaelectrotono* también se pondrán de manifiesto en este caso, dado que las terminaciones nerviosas o placas motoras colocadas bajo los distintos electrodos sufrirán influencias semejantes a las sensitivas.

De hecho, cuando la electroestimulación de un punto motor es dificultosa, suele aplicarse galvanismo previo, a condición de que el (-) se sitúe en la placa motora a estimular para crear un ambiente electroquímico de *cataelectrotono* en la zona.

Esto significa que el líquido pericelular quedará bañado en cationes (+) y aunque suba el umbral de polarización, la reacción de despolarización se hará en condiciones mejoradas, con suficientes reservas metabólicas como para soportar el trabajo a realizar y la respectiva disminución de fatiga.

Lo contrario ocurrirá con los efectos bajo el ánodo o *anaelectrotono*, donde se reducirán las reacciones electroquímicas, su velocidad, sus reservas ante el trabajo y aumentará la fatiga.

### **Sistema nervioso central**

Queda entonces referido el experimento que Leduc hizo con los peces (Fig. V. 5), consistente en lo siguiente:

Leduc colocó en dos extremos opuestos de una pecera sendos electrodos de un circuito de galvanización. Aplicó la corriente y observó que los peces se manifestaban inquietos y nerviosos hasta que todos quedaron orientados con la cabeza hacia el ánodo y la cola hacia el cátodo. Invirtió la polaridad y, de nuevo, los peces se sintieron inquietos hasta volver a encontrar el ánodo para la cabeza y el cátodo para la cola.

A esto lo llamó Leduc el *efecto descendente* y *efecto ascendente*, diciendo lo siguiente: «cuando la corriente es descendente [(+) craneal y (-) distal] se consigue sedación y narcosis. Pero si la corriente es ascendente [(+) distal y (-) proximal], el efecto será de excitación y tensión nerviosa».

Otro experimento consiste en aplicar los dos electrodos en ambos parietales y hacer pasar una corriente galvánica. Al cabo de un rato se observan las siguientes manifestaciones:

- bajo el cátodo la sensibilidad de la piel es mayor que en el lado del ánodo;
- la cabeza se inclina hacia el lado del cátodo (debido al mayor tono muscular);
- la pupila del ojo junto al ánodo se dilata, mientras que la otra conserva su tono muscular y
- en el oído del cátodo se siente vértigo, mientras que en lado opuesto no ocurre.

Debido a este experimento, al efecto ascendente o descendente también se le llama *vértigo voltaico* y galvanonarcosis.

No solamente se producirán los efectos ascendente-descendente cuando se encuentre implicado el sistema nervioso central, sino que si un nervio a lo largo de su trayectoria se ve sometido a galvanismo, también sufrirá o disfrutará de los efectos ascendente o descendente.

**Es por esto último que cuando hagamos aplicaciones de galvanismo con otros objetivos, no nos olvidaremos de que podemos sedar o estimular simultáneamente a los nervios de la zona y tener en cuenta la doble circunstancia para que se produzca un efecto sumativo en lugar de un efecto contradictorio.**

**Es muy probable que muchas de las aplicaciones de iontoforesis consideradas efectivas por el medicamento se deban más al galvanismo como tal que al medicamento supuestamente introducido. Por el contrario, iontoforesis consideradas fallidas, se deban a efectos contradictorios del galvanismo.**

## Generador de corriente continua o galvánica

Como queda expresado más arriba, la corriente galvánica es generada por las pilas, baterías y acumuladores en general. Pero, es habitual la transformación de la corriente alterna de la red en continua mediante un circuito electrónico muy simple, el cual interesa conocer por su implicación e influencia en conceptos eléctricos y sus parámetros (Fig. V. 15).

La parte de transformación y rectificación es simple, pero el sistema de regulación en *intensidad constante* y de la intensidad aplicada son complejos y constituyen el «alma» de cualquier galvanizador destinado a tratamientos.

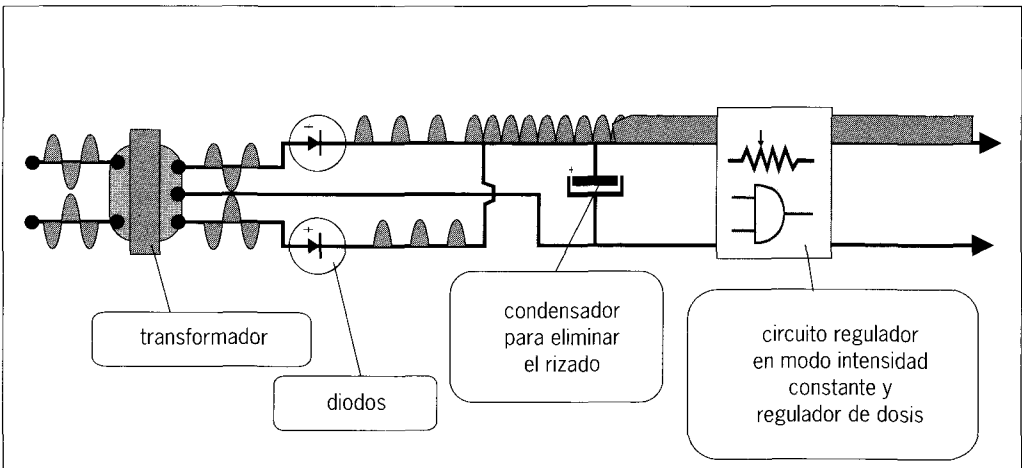


Figura V.15.

El primer paso consiste en tomar la energía eléctrica alterna de la red y reducirla con un transformador. Seguidamente, se filtran las ondas usando 1, 2 ó 4 componentes electrónicos denominados diodos. A continuación, se elimina el rizado por el efecto del correspondiente condensador para, inmediatamente, pasar a los circuitos de control de intensidad, de voltaje, control de intensidad constante, sistema de medida, controles de seguridad, etcétera.

## Dosis de la corriente galvánica

Ante la intensidad que se aplica en una sesión de tratamiento, veamos qué ocurre si hacemos pasar 10 mA por dos electrodos de 60 cm<sup>2</sup> y los mismos 10 mA por otros electrodos de 2 cm<sup>2</sup>.

En el primer caso, el paciente nos comentará que nota una sensación más o menos soportable, pero en el segundo, pedirá con urgencia que se lo retiremos por la fuerte sensación de picor, hormigueo o quemazón que siente.

En la primera aplicación (de 60 cm<sup>2</sup>), cada cm<sup>2</sup> recibe  $(10/60 = 0,166)$  unos 0,165 mA/cm<sup>2</sup>.

En el segundo caso (de 2 cm<sup>2</sup>), cada cm<sup>2</sup> recibirá  $(10/2 = 5)$  5 mA/cm<sup>2</sup>.

Esto nos obliga a buscar una *intensidad media como unidad de aplicación (dosis)*, basada en que cada centímetro cuadrado de superficie que recibe la corriente, soporte siempre la misma sin que influyan otros parámetros.

Esta dosis la establecen la mayoría de los autores entre un mínimo de 0,05 µA/cm<sup>2</sup> y un máximo de 1 mA/cm<sup>2</sup>.

¿Por qué esta gran diferencia? Seguramente cada autor aporta sus experiencias personales con los distintos equipos aplicadores y los diferentes diseños electrónicos.

Es distinto aplicar  $0,2 \text{ mA/cm}^2$  con una resistencia en el circuito aplicador de  $3.000 \text{ Ohm}$ , que  $0,2 \text{ mA/cm}^2$  sobre  $1.500 \text{ Ohm}$ , partiendo de la base, según la cual, la aplicación se practicará en *intensidad constante* y el uso de distintos tamaños de electrodos, variante que influye en la resistencia del circuito. Al considerar diferentes tamaños, el voltaje en cada caso será distinto. Para el ejemplo tomemos unos electrodos de  $100 \text{ cm}^2$ .

**$0,15 \text{ mA/cm}^2$  para galvanismo sobre  $3.000 \text{ Ohm/cm}^2$**

$$0,15 \cdot 100 = 15 \text{ mA (todo el electrodo)}$$

$$0,015 \cdot 3000 = 45 \text{ V}$$

$$0,015 \cdot 45 = 0,675 \text{ W}$$

**675 milivatios por todo el electrodo, 0,00675 milivatios en cada  $\text{cm}^2$ .**

De considerar  $0,15 \text{ mA/cm}^2$  con  $500 \text{ Ohm/cm}^2$  el resultado será:

$$0,15 \cdot 100 = 15 \text{ mA (todo el electrodo)}$$

$$0,015 \cdot 500 = 7,5 \text{ V}$$

$$0,015 \cdot 7,5 = 0,112 \text{ W}$$

**112 milivatios por todo el electrodo, 0,001 milivatios por cada  $\text{cm}^2$ .**

Estas cifras vienen obtenidas por la práctica cotidiana, pero la cifra buena debe estar basada en los objetivos marcados en el tratamiento y en las parámetros que nos ofrece el aparato aplicador, la resistencia del circuito, condiciones de los electrodos y tejidos del paciente.

- Si pretendemos practicar una aplicación en la que no se llegue a conseguir que las proporciones de ácidos o bases acumuladas bajo sendos electrodos no alcancen niveles altos, debemos hacer una aplicación con una diferencia de potencial (voltaje) bajo, intensidad adecuada (mA) baja y tiempos largos, de manera que, cuando las concentraciones químicas superen el umbral deseado, sean hidrolizadas por la zona de dispersión: *aplicación lenta de energía* (poca potencia).
- Si buscamos producir transformaciones químicas serias bajo los electrodos aunque lleguen a alterar la composición de la zona, la intensidad y la diferencia de potencial, deben ser lo suficientemente intensos como para que así ocurra, controlando con eficacia y precaución el tiempo de aplicación: *aplicación rápida de energía* (potencia más alta).

¿Dónde se halla el límite o *umbral* en el que los iones se concentren sin llegar a transformarse en elementos neutros?... O, lo que es igual, ¿dónde se halla el límite para generar *electroforesis* sin pasar a *electrólisis*?

No es fácil averiguarlo, por depender de multitud de circunstancias referentes a la disolución, de la tensión (voltaje) aplicada, de la intensidad, de la resistencia de los tejidos, de la resistencia de la piel (la cual actúa de membrana divisoria en la disolución), etcétera.

En la misma situación nos hallamos cuando nos hacemos semejante pregunta en cuanto a la dosis adecuada para aplicar onda corta o microondas:

¿Qué potencia es la adecuada para que el calor generado no dañe los tejidos?

La potencia adecuada (para alta frecuencia) es aquella que genera calor suficiente como para que suba la temperatura de la zona unos grados (2 a 4 °C como máximo), que se mantengan los mismos grados a lo largo de la aplicación y, lo fundamental, que el mecanismo de termo regulación del organismo sea capaz de controlar y disipar el calor generado (sin saturar el sistema).

En cuanto el organismo no es capaz de disipar todo el calor generado, éste se acumulará en la zona poniendo en peligro la integridad de la materia orgánica sometida a exceso de calor (hemos saturado el sistema).

En el caso de la onda corta o de microonda, suele ser más o menos fácil de ajustar; ya que el paciente nos informará de la sensación de calor recibida para corregirlo.

Pero, en la aplicación de galvanización, no está tan clara la información que el paciente nos suministra, por el simple hecho de que el galvanismo suele producir sensaciones distintas en cada persona, llegando el caso (frecuentemente dado) en que el paciente dice no sentir prácticamente nada y, cuando levantamos los electrodos, la zona de implantación aparece al límite de la quemadura. Razón por la que *nunca debemos olvidar el previo cálculo de la dosis según los centímetros cuadrados del electrodo más pequeño.*

Tal vez el método más útil, por el momento, provenga de la experiencia de cada uno con su propio aparataje de trabajo, partiendo siempre de aplicaciones cautas, prudentes y progresivamente más potentes hasta que detectemos los límites adecuados.

No todos los equipos de galvanización cumplen las mínimas condiciones eléctricas, de manera que, aunque apliquemos la misma intensidad en cualquiera de ellos, cada uno puede darnos distintos límites en los valores de voltaje y, por consiguiente, ciertos desajustes. Para resolver el problema acudiremos a la Ley de Ohm, con la que sabiendo dos parámetros, obtendremos todos los demás (Fig. V. 16).

El conocimiento del aparato que se usa y de las circunstancias resistivas del circuito corporal es importantísimo, ya que resulta muy distinto hacer una aplicación de 50 V con 5 mA que otra que nos suministre 12 V con 5 mA.

En el primer caso aplicamos.  $50 \text{ V} \cdot 5 \text{ mA} = 250 \text{ mW}$  (milivatios)

En el segundo caso aplicamos.  $12 \text{ V} \cdot 5 \text{ mA} = 60 \text{ mW}$

Si la aplicación dura 5 minutos (300 sg), tenemos:

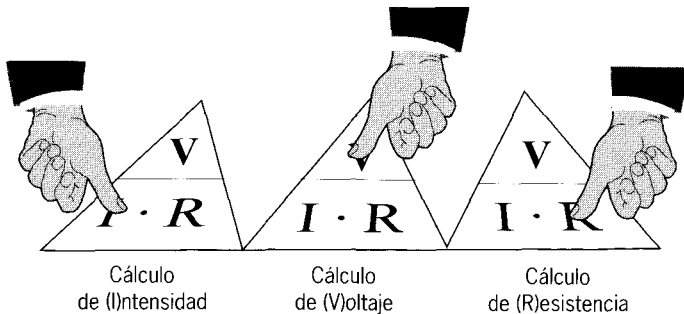


Figura V.16

Primer caso

$$250 \text{ mW} \cdot 300 \text{ sg} = 75 \text{ J (julios, unidad de trabajo)}$$

Segundo caso:

$$60 \text{ mW} \cdot 300 \text{ sg} = 18 \text{ J}$$

Aunque en los dos casos se aplican 5 mA, el trabajo realizado es muy distinto y, por consiguiente, también lo serán los resultados (Fig. V. 17).

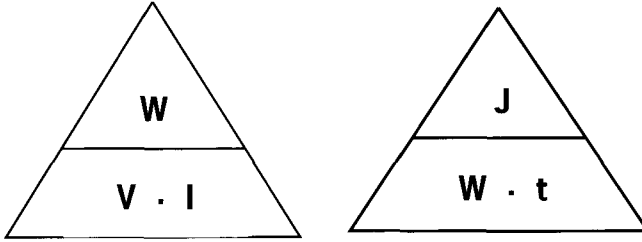


Figura V.17

Estamos siguiendo los caminos de la Ley de Ohm y la Ley de Joule, porque consideramos los posibles efectos de alteración electroquímica y riesgo de quemadura. Sin embargo, cuando utilicemos el galvanismo orientado a la introducción de medicamentos (*iontoforesis*), aplicaremos la Ley de Faraday, aunque sin olvidar los parámetros del circuito para no correr riesgos de quemadura. (La Ley de Faraday nos calcularía la cantidad de medicamento introducida.)

(Véase en el siguiente capítulo, el epígrafe correspondiente a la rizolisis anódica).

Según esto, deberemos conocer la resistencia del organismo por depender directamente de esta variable el trabajo que se generará, ya que pueden pasar «x» mA por el circuito formado por cables de aplicación electrodos y organismo.

Dado que en teoría la resistencia de los cables es cero, el trabajo en ellos realizado será nulo. Pero en los tejidos orgánicos, cuanto mayor sea la resistencia, mayor será el trabajo generado, aunque dependerá de si el equipo de aplicación trabaja en *intensidad constante* o *tensión constante* situaciones tratadas en el capítulo I.

**El galvanismo genera calor en los tejidos, calor procedente del paso de energía eléctrica (además de por otras causas), calculable y mensurable mediante la Ley de Joule y la de Ohm.**

## Cálculo de la resistencia corporal

Tendemos a pensar que la medida realizada con un polímetro eléctrico en la posición de ohmios y con las puntas de prueba es suficiente para leer la resistencia de los tejidos orgánicos. Nada más lejos de la realidad pues, los valores así conseguidos, no tienen nada que ver con la resistencia que los tejidos corporales ofrecen a un estimulador.

Para saber la resistencia óhmica (que no impedancia):

- aplicaremos un estimulador en corriente galvánica;
- subimos la intensidad hasta un punto no molesto;
- medimos la intensidad con un polímetro eléctrico en la posición de miliamperios y
- con otro polímetro medimos el voltaje aplicado.

Con los valores anotados de intensidad y voltaje, aplicaremos la Ley de Ohm para calcular la resistencia.

Pongamos un ejemplo: hemos llevado a cabo el montaje descrito y anotamos los siguientes parámetros:

- en intensidad = 5 mA;
- en voltaje = 25 Voltios.

La ley de Ohm reza que resistencia es igual a voltaje partido por intensidad.

$$R = \frac{25}{0,005} = 5.000 \text{ Ohms}$$

Los 5.000 ohm calculados se dan en todo el electrodo. Si deseamos saber la resistencia en cada cm<sup>2</sup>, dividiremos este valor entre los cm<sup>2</sup> del electrodo.

Es importante conocer las evoluciones y comportamiento de la resistencia corporal para entender mejor los fenómenos galvánicos y para detectar la aparición de quemaduras.

## Aplicación de un caso real buscando precisión en la dosis

**Ante todo, es necesario reiterar que el proceso de cálculo siguiente y propuesto como hipótesis de trabajo e investigación será utilizado para controlar y profundizar en posibles daños y efectos de la corriente galvánica. En los casos en que la galvánica se utilice para iontoforesis, aplicaremos la Ley de Faraday, según la cual se puede calcular la cantidad de sustancia introducida, aunque tampoco es tan simple.**

Para la siguiente prueba se dispone de:

- un estimulador estandarizado de baja frecuencia con corriente galvánica;
- de electrodos estandarizados y gamuzas empapadas en suero fisiológico;
- ordenador con placa de entrada/salida para detectar y medir parámetros eléctricos;
- programa de ordenador para procesar los distintos parámetros eléctricos y presentarlos en tiempo real (Fig. V. 18).

Solamente se introducen por teclado el valor de los centímetros cuadrados del electrodo activo y la intensidad que se desea aplicar por cada centímetro cuadrado.

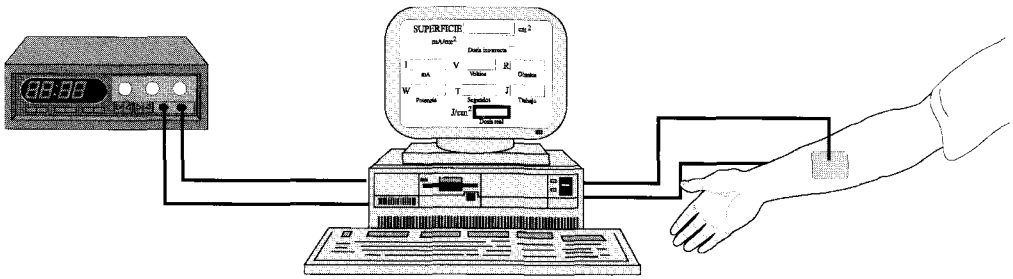


Figura V.18.

Se practica la aplicación sobre el codo de forma contralateral para epicondilitis, siendo el electrodo activo de unos  $30 \text{ cm}^2$  aproximadamente y la dosis de referencia arriba indicada,  $0,15 \text{ mA/cm}^2$ . El modelo o paciente refiere una sensación de ligero hormigueo sin llegar a molestar en ningún momento.

Se capturan algunas pantallas de presentación de datos cada 30 segundos aproximadamente para seguimiento y observación del comportamiento, en las que se aprecian lo siguiente (Fig. V. 19):

Los valores de superficie de electrodos, intensidad por  $\text{cm}^2$  e intensidad total (indicada en el miliamperímetro del electroestimulador), siempre serán los mismos al trabajar el estimulador en intensidad constante.

A los dos segundos, la resistencia es de 3.000 ohmios, la diferencia de potencial es de 13,5 V, el trabajo generado es de 0,121 J y los  $\text{J/cm}^2$  son 0,004 ( $4 \text{ mJ/cm}^2$ ) (Fig. V. 19).

A los 30 sg, la resistencia a disminuido de forma considerable, el voltaje también, la potencia generada en cada instante es menor y los julios se van acumulando con menor rapidez (Fig. V. 20).

A los 60 sg, la resistencia sigue bajando, pero con más lentitud, el voltaje y la potencia son menores, aunque el trabajo total, como por unidad de superficie, sigue acumulándose (Fig. V. 21).

A los 90 sg, la resistencia de los tejidos tiende a estabilizarse junto con los demás parámetros eléctricos. Los julios totales son ya de 1,389 J y los  $\text{J/cm}^2$  se han acumulado por valor de 80 mJ (Fig. V. 22).

En las dos últimas pantallas capturadas, se observa que la resistencia se ha estabilizado, al igual que la potencia; sin embargo, el trabajo se acumula segundo a segundo, con una tendencia de  $20 \text{ mJ/cm}^2$  cada 30 sg (siempre que la resistencia no cambie) (Fig. V. 23).

A los 10 minutos, se retira la aplicación con una ligera reacción de enrojecimiento bajo los electrodos (normalmente más bajo el (+)). La pantalla nos presenta que la resistencia ha bajado unos ohmios, el trabajo total fue de 12,3 J y la dosis o densidad de energía por centímetro cuadrado fue de  $0,41 \text{ J/cm}^2$  (unos  $400 \text{ mJ/cm}^2$ ) ¿serán  $400 \text{ mJ/cm}^2$  la dosis real adecuada para nuestros tratamientos?

Resumiendo y concretando: si realmente deseamos trabajar con precisión, cuando menos, necesitaremos, en todo momento, la doble información de intensidad aplicada y el voltaje, con el fin de calcular la potencia, la resistencia, las variaciones en la resistencia y el trabajo realizado.



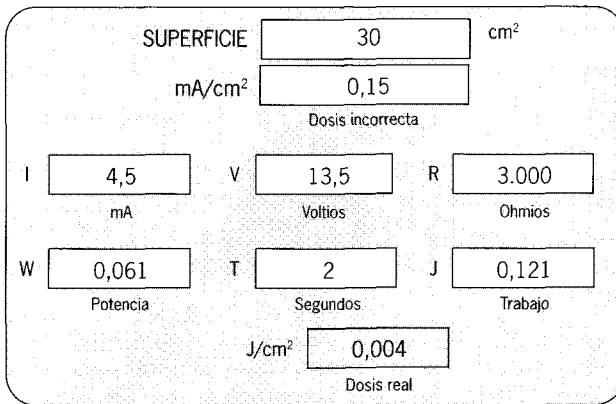


Figura V.19.

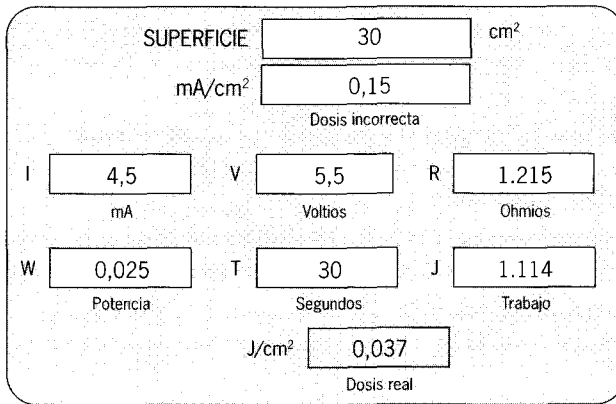


Figura V.20.

¿Cuántos julios/cm<sup>2</sup> (implica tiempo de la sesión) son necesarios para conseguir la alteración de las zonas polares justo en el nivel deseado? *No lo sabemos*, necesitamos investigar-lo o acudir a la quinesiología aplicada y elegir la dictada por la exploración.

Pero, la realidad y práctica cotidiana nos obliga a trabajar y a entender la tecnología y equipos con los que tratamos a nuestros pacientes; en estos equipos solamente disponemos de la información referente a la intensidad aplicada, más el tamaño de los electrodos usados, datos con los que calcularemos la cifra media de la dosis o mA/cm<sup>2</sup>, la cual admite oscilaciones, ya que dependen de ella e influyen en ella varias circunstancias, como pueden ser:

- *objetivos marcados;*
- *características técnicas del aparato;*
- *tiempo de duración de la sesión;*
- *la sensibilidad del paciente;*
- *grado de reacción de la piel del paciente;*

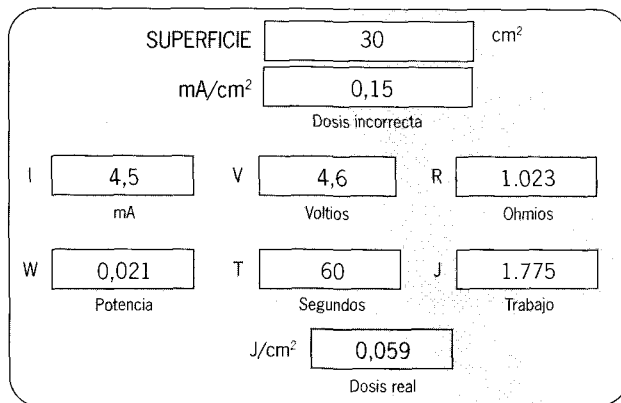


Figura V.21.

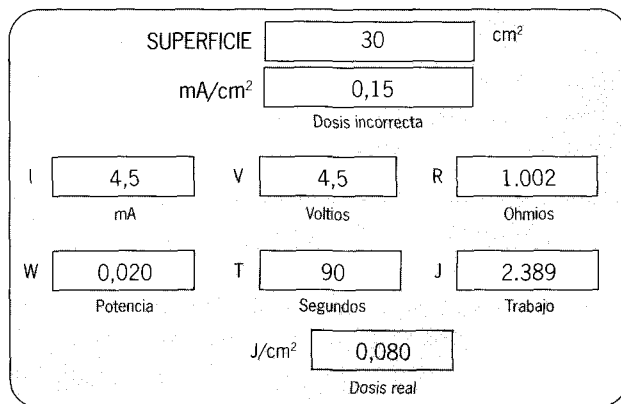


Figura V.22.

- *tipo de aparato aplicador;*
- *tipo de patología a tratar;*
- *sistema de medida de la intensidad* (tensión constante o intensidad constante);
- *estado de humedad de la piel y electrodos* (resistencia).

En fin, la experiencia personal de cada uno y el manejo diario nos conducirá a encontrar la cifra más idónea para cada forma de corriente y los distintos tratamientos, en tanto no precisemos, mediante la investigación, las cifras en parámetros precisos y fiables.

Dado que por el momento es una técnica aplicada de forma muy empírica, es importante no guiarse por la apreciación subjetiva del paciente (salvo que manifieste molestias), calcular la intensidad por cada cm<sup>2</sup> y tantear el tiempo, aumentando 5 minutos por día siempre que las reacciones del paciente no resulten alarmantes.

En el capítulo referente a la *iontoforesis*, se volverá a insistir en la dosis enfocada bajo otro punto de vista, además de sugerir un diseño de galvanizador y forma de dosificación de la galvánica, a modo de hipótesis de trabajo.

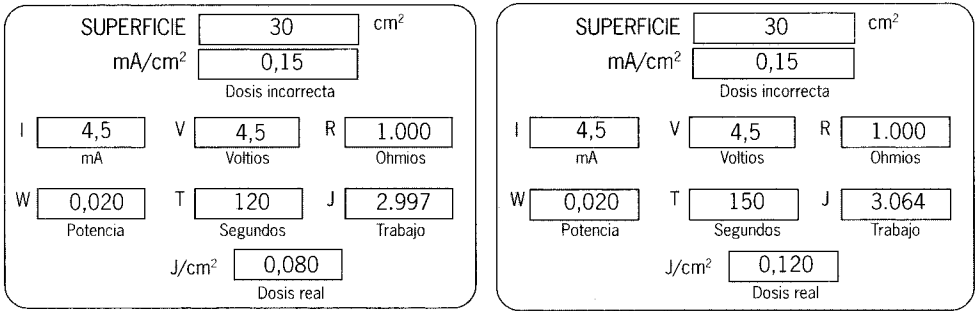


Figura V.25.

### Quemaduras con interrumpidas galvánicas

Otra forma o variante de aplicar galvanismo sobre el organismo consiste en hacer interrupciones en la aplicación de la corriente galvánica, de suerte que la eficacia resultante va a ser la media obtenida del tiempo con que se aplica la intensidad máxima de los impulsos, menos el tiempo de los reposos. De aquí, el efecto galvánico de todas las corrientes del grupo perteneciente a las interrumpidas galvánicas (Fig. V. 24).

Con estas corrientes, si su componente galvánico es muy reducido, normalmente nunca se quemará; pero, si es elevado, con frecuencia podremos quemar sin entender muy bien el porqué.

Para evitar alteraciones electroquímicas bajo los electrodos, previamente debemos averiguar cuál es el componente galvánico de una interrumpida galvánica. Para ello podemos hallarlo por diversos caminos aritméticos, pero ahora seguiremos el camino del porcentaje mediante una simple regla de tres.

Según la (Fig. V. 25), supongamos que aplicamos una corriente de 2 ms de impulso y 18 ms de reposo, con lo cual disponemos de un período de 20 ms. Ello significa que durante

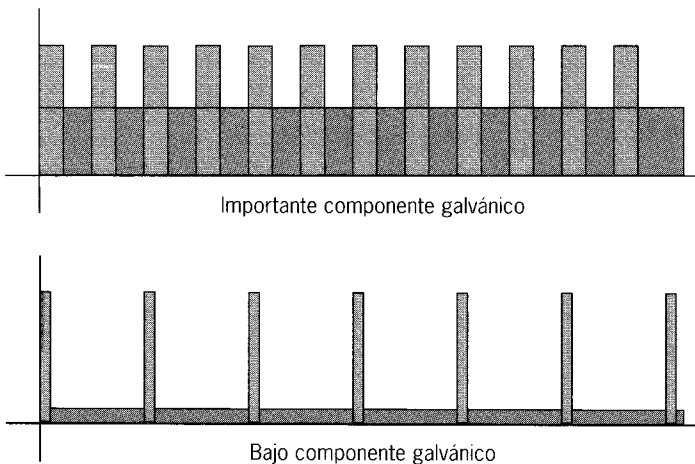


Figura V.24.

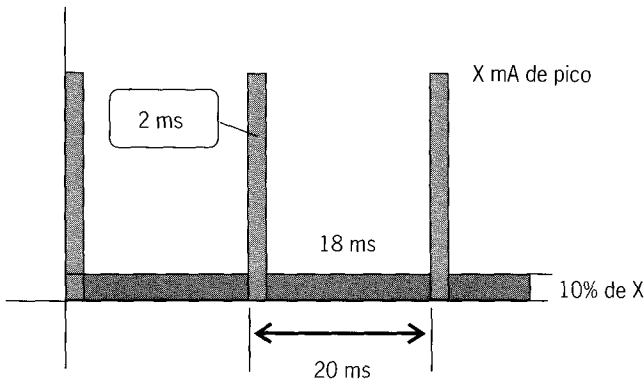


Figura V.25.

2 milisegundos trabajamos y los 18 restantes estamos en cero de energía; así, trabajaremos la décima parte del tiempo del período. Luego, si los 20 ms del período los consideramos como el 100% del ciclo analizado, 2 ms serán X.

$$20 \text{ ms} \rightarrow 100\%$$

$$2 \text{ ms} \rightarrow X$$

$$X = 10\%$$

Sin asignar un valor concreto a mA, sabemos que el 10% de los miliamperios ajustados (leídos en el miliamperímetro) de esta corriente serán capaces de comportarse como una corriente galvánica. Luego este 10% no debe superar los valores que hubiéramos ajustado con la galvánica pura.

Ahora necesitamos saber la superficie del electrodo pequeño y qué intensidad límite ajustaríamos en el miliamperímetro con una galvánica pura.

Supongamos que el electrodo pequeño es de  $6 \text{ cm} \cdot 8 \text{ cm} = 48 \text{ cm}^2$ .

$$48 \text{ cm}^2 \cdot 0,15 \text{ mA/cm}^2 = 7,2 \text{ mA en todo el electrodo}$$

Por ello, en la corriente anterior, el 10% de ella no debe superar los 7,2 mA. De aquí nos plantearemos el siguiente problema:

¿hasta qué intensidad podemos elevar los miliamperios de pico, en la referida corriente, si consideramos que el 10% de ese valor será equivalente a una corriente galvánica de 7,2 mA sobre el electrodo de  $48 \text{ cm}^2$ ? (Fig. V. 27)

Entonces:

$$\text{si el } 10\% \rightarrow 7,2 \text{ mA}$$

$$\text{el } 100\% \rightarrow X \text{ mA}$$

$$X = 72 \text{ mA}$$

En general, podemos decir que si una corriente interrumpida galvánica presenta el 50% (1/2) de componente galvánico, su intensidad puede ser elevada hasta el inverso, el doble

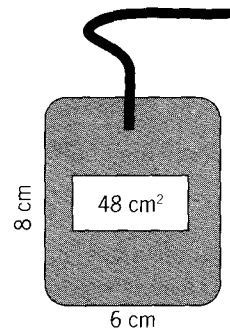


Figura V.26.

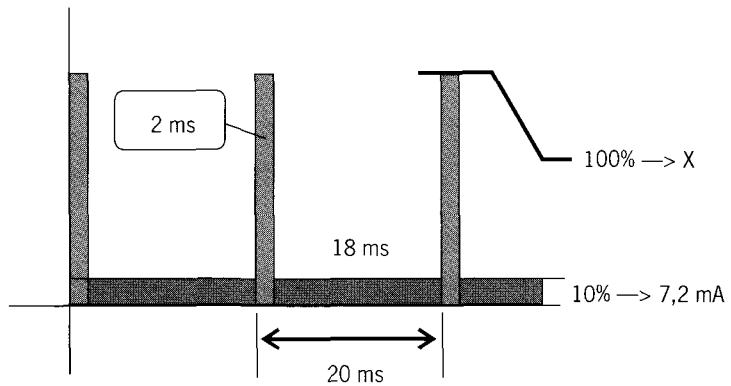


Figura V.27.

de la calculada como componente galvánico. Si es del 33% (1/3), podemos alcanzar el triple. Si es del 25% (1/4), elevaremos como límite de riesgo cuatro veces el valor de su componente galvánico.

Por otra parte, es normal que el estímulo sensitivo no nos permita alcanzar el límite, pero, con frecuencia, solemos superarlo. Pensemos en una difásica fija (DF) de las diadinámicas que posee el 66%, la monofásica fija (MF) con el 33% o los cortos períodos (CP) con el 49,5%.

Cuando una corriente pulsada genere estímulo sensitivo intenso, tanto que no permita alcanzar el efecto galvánico pretendido, aumentaremos la frecuencia conservando el mismo componente galvánico. Para ello disminuirémos el tiempo de pulso y del reposo en la misma proporción.

Veamos:

Corriente al 50% de componente galvánico y 100 Hz.

- 5 ms de pulso más 5 ms de reposo (Fig. V. 28)

Corriente al 50% de componente galvánico y 500 Hz.

- 1 ms de pulso más 1 ms de reposo (Fig. V. 29)

Si aplicamos una banda de frecuencias que oscile entre 80 y 150 Hz, el estímulo sensitivo será muy importante. Si aumentamos la frecuencia por encima de 200 Hz, el estímulo sen-

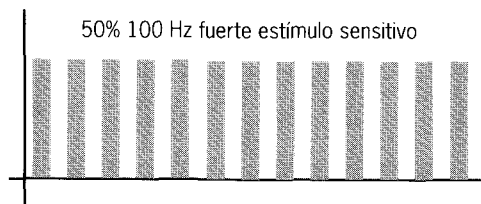


Figura V.28.

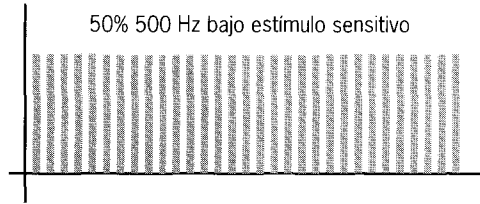


Figura V.29.

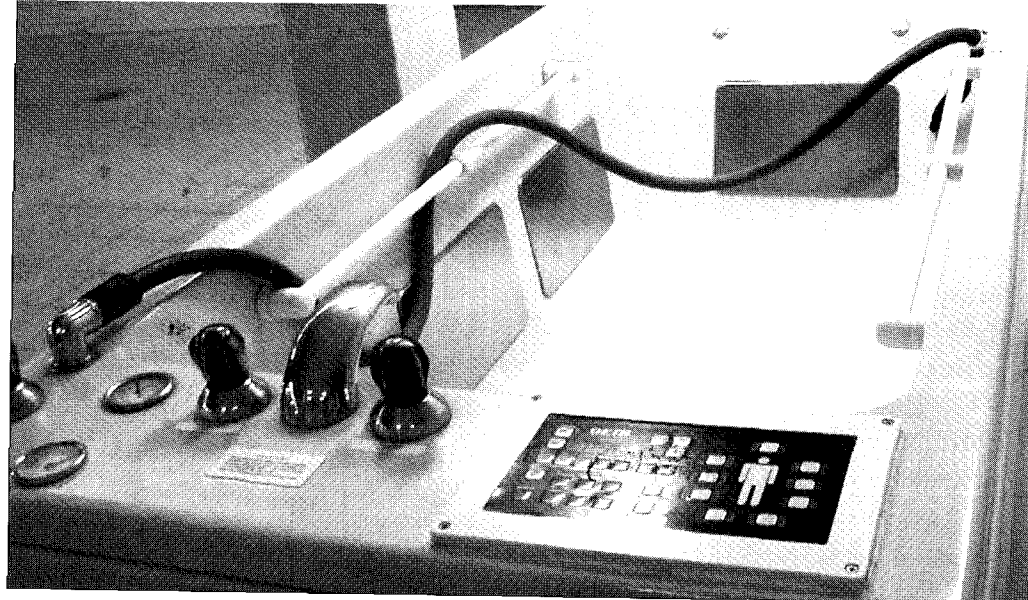


Figura V.30.

sitivo pierde protagonismo y nos permite alcanzar las intensidades que necesitamos para cubrir el efecto galvánico de la corriente pulsada.

Cuanto mayor sea el componente galvánico, el paciente manifiesta percepción sensitiva de quemazón galvánico; cuando el componente galvánico es menor, la percepción es de calambre eléctrico provocado por la sucesión de pulsos.

Una modalidad de galvanismo es la denominada corriente «GALVÁNICA PULSADA», formada por pulsos muy cortos y juntos, tanto que presenta una frecuencia de unos 8.000 a 10.000 Hz con un componente galvánico muy próximo al 100% (Fig. V. 30).



## CAPÍTULO VI

# Aplicaciones y tratamiento con galvanismo

Veamos un caso práctico y tratemos de analizar someramente las circunstancias y qué tratamiento sería el adecuado.

Supongamos un golpe en el dorso de la mano con consecuencias de aplastamiento y destrucción de tejidos subcutáneos, sin que exista herida.

### Proceso agudo

La zona entra en un proceso agudo de inflamación reparadora, con sus características de *calor, color, dolor y tumor* (aparte su posible impotencia funcional, que en este caso no valoramos), producidas por una vasodilatación exagerada que aporta nutrientes y elimina sustancias transformadas en desechos metabólicos (catabolitos), además de otros residuos procedentes de la destrucción celular y derrames.

Los catabolitos (o sustancias a eliminar) son de carga iónica predominantemente (-) produciendo efecto irritante en las terminaciones nerviosas y acidez en el pH, con lo cual, se impide la liberación al sistema circulatorio del dióxido de carbono.

El organismo se defiende produciendo vasodilatación localizada, diapédesis, extravasación de agua y aceleración metabólica, ya que si la circulación no se alterara, la diferencia de potencial entre el líquido intersticial y el vaso sería (-) hacia la linfa, cuando debe ser al contrario.

El organismo reacciona aumentando el riego, con lo cual la diferencia de potencial se hace (-) en el vaso, permitiendo la ósmosis entre ambos: se reducen los catabolitos, la linfa se hace más (+), más fluida y se reduce la acidez. El pH asciende pudiendo alcanzar valores altos en exceso por reacción inflamatoria exagerada.

Si en este proceso agudo queremos realizar un tratamiento para *frenar la reacción exagerada de inflamación*, tenemos que aplicar el electrodo (+) *ánodo* sobre el foco inflamatorio con el fin de buscar los siguientes efectos:

- reducción del metabolismo;
- vasoconstricción;
- coagulación y
- sedación del dolor inflamatorio.

Junto con estos efectos fundamentales tendríamos otros de:

- rechazo y freno del trasvase de iones (+) (que estaba aportando la vasodilatación tal vez exageradamente) y
- desalcalinizar la zona hasta volverla al pH adecuado o a su mejor punto fisiológico.

## Proceso crónico

Pero, supongamos que ha pasado tiempo sin resolverse el problema y la lesión se cronifica, convirtiéndose en una zona de edema indurado, en estado de gel, atrapado entre una red de fibras de colágeno, poco dolorosa, además de un cierto nivel de impotencia funcional en momentos de requerimiento al esfuerzo por degeneración cicatricial de los tejidos lesionados.

Esto implica que aparece edema con poco riego en la zona. Los vasos son pocos, estrangulados por la fibrosis de colágeno y constreñidos. El edema se encuentra indurado por estar la linfa deficitaria de agua y atrapada entre fibras de colágeno, en estado de gel debido al bajo metabolismo, o como reacción de defensa del organismo ante un acúmulo de catabolitos coagulados y precipitados, los cuales no pueden eliminarse vía disolución en el medio, así como por vías linfática o sanguínea.

Para romper este círculo vicioso con el galvanismo, basta con pararnos a pensar en sus efectos polares y aplicar los opuestos a los observados en la zona.

Se aplica el *cátodo* (-) con el objetivo de:

- conseguir vasodilatación circulatoria;
- favorecer el intercambio de sustancias y eliminar el edema;
- rechazar de la zona a los catabolitos (-) por efecto de *cataforesis* o *iontoforesis negativa*;
- aumentar la licuación para que la zona pase de estado de gel a sol;
- producir reacción alcalina, para cambiar el pH local que era ácido;
- irritar las terminaciones nerviosas de la zona, para que el organismo manifieste una pequeña reacción inflamatoria capaz de resolver esa patología cronificada;



- que el calor producido por el galvanismo y cambios químicos también contribuyan a la vasodilatación;
- que el calor y la agitación electroquímica de la zona aceleren el movimiento Browniano, favoreciendo los intercambios químicos y la disolución de las sustancias precipitadas o coaguladas.

Al producir todos estos efectos primarios o inmediatos:

- se mejora el metabolismo;
- se elimina el edema;
- se restablece una circulación sanguínea reparadora y
- se alivia el dolor por haber hecho desaparecer los catabolitos que estaban irritando químicamente las terminaciones nerviosas (nociceptores químicos).

Hallaremos situaciones y patologías en que el dolor u otros síntomas no obedecen a alteraciones morfológicas de la zona, sino que son reflejos debidos a motivos nerviosos que se producen a distancia del lugar de manifestación sintomatológica. Un ejemplo de esta manifestación la encontramos en la *epicondilitis*.

La epicondilitis (o la epitrocleitis) puede darse a causa de lesiones morfológicas causadas por traumatismos o sobrecargas locales, debiendo aplicar la técnica de galvanización oportuna y local.

En otras ocasiones, la epicondilitis se manifiesta como un problema secundario a compromisos de las raíces nerviosas del plexo braquial, de manera que, si deseamos eficacia en el tratamiento, debemos abordar el problema por la vía de aliviar el compromiso nervioso, además del local. O cuando menos, tratar de anular el dolor aplicando las técnicas galvánicas dirigidas al sistema nervioso: efectos *ascendente* o *descendente*.

Al localizar el *ánodo* (+) en la zona cervical y el *cátodo* (–) en el extremo distal del miembro superior (con la mano dentro de una cubeta con agua, en la que se introduce el electrodo) conseguiremos un resultado de sedación en todo el miembro superior sometido a tratamiento por efecto descendente.

## Baño galvánico

Para influir sobre el sistema nervioso (referido en el párrafo anterior), se practican baños galvánicos en todo el cuerpo o grandes zonas de él, sumergiendo al paciente en una bañera (Fig. VI. 1).

La bañera es de material aislante, más grande de lo habitual y con placas metálicas en sus paredes a modo de electrodos. Cada electrodo puede seleccionarse independientemente como cátodo, como ánodo o anularlo mediante una botonera que posee la bañera en su cuadro de mandos. En dicho cuadro de mandos también se encuentra el potenciómetro regulador de la intensidad a aplicar y un aparato de medida para saber los amperios aplicados.

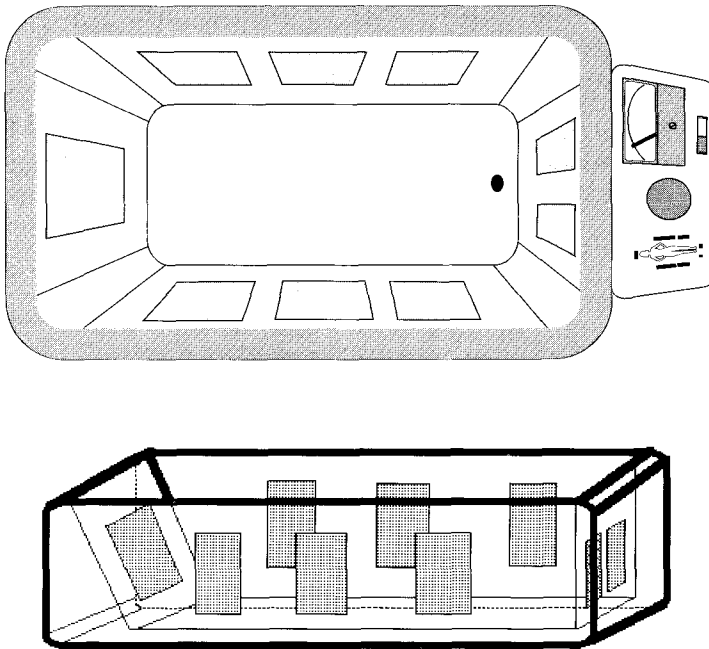


Figura VI.1.

La distribución de los electrodos suele ser:

- un electrodo amplio y más alto que ancho en la zona de apoyo de la espalda y cabeza (los electrodos no pueden contactar directamente con el cuerpo);
- dos electrodos en la pared de apoyo de los pies (uno para cada pie);
- tres en cada lateral de la bañera colocados equidistantes entre sí, y
- un electrodo («cepillo») móvil destinado a situarlo estático a voluntad en la zona que deseemos, o desplazarlo manualmente durante la sesión. Este tipo de electrodo lógicamente posee un cable con su clavija que se conecta a su propio borne de contacto disponible en la bañera para tal efecto.

***Como se ha dicho, los electrodos en ningún momento pueden contactar directamente con la piel cuando éstos se hallen bajo la influencia de la corriente.***

Los electrodos estarán compuestos de un metal lo más inerte posible a los ataques electroquímicos, con el fin de impedir su corrosión o liberación de sustancias perniciosas al agua, que pueden penetrar dentro del organismo por el mismo efecto de electroforesis o por difusión a través de la piel. No debemos hacer trabajar a dos electrodos inmediatos en su proximidad con polaridad opuesta, ya que al encontrarse muy cerca, pasaría gran parte de la corriente por el camino más corto entre ambos sin influir al cuerpo.

El mecanismo de acción en la bañera va a depender de si en el agua se disuelve o no previamente alguna sal o sustancia que favorezca la conducción. Y los mecanismos de actuación serán también distintos.

El agua pura y destilada ( $H_2O$ ) presenta una resistencia muy alta a la corriente galvánica, pero si contiene disuelta variedad de sales y otros iones, se va haciendo conductora de acuerdo y proporcionalmente con el grado de solutos que contenga.

- 1) Si *no disolvemos* ninguna sustancia, la corriente buscará el camino más fácil, formado, en este caso, por las disoluciones orgánicas del paciente, a pesar de la barrera que supone la piel. Los efectos son los propios del galvanismo basados en los *polares, interpolares, ascendente o descendente* (Fig. VI. 2).
- 2) Pero, si *disolvemos* sal común en cantidad suficiente (situación más habitual), la energía eléctrica circulará por los iones de la disolución acuosa, sin superar la barrera de la piel ni penetrar dentro del organismo. En este caso, el mecanismo de acción consiste en crear una carga eléctrica y de iones, inmediatamente por fuera de la piel que influirá al otro lado debido al efecto de *electroforesis*, es decir, se generará otra carga eléctrica inmediatamente debajo de la piel de signo contrario a la externa, por rechazarse entre sí los iones y las cargas del mismo signo (Fig. VI. 3).

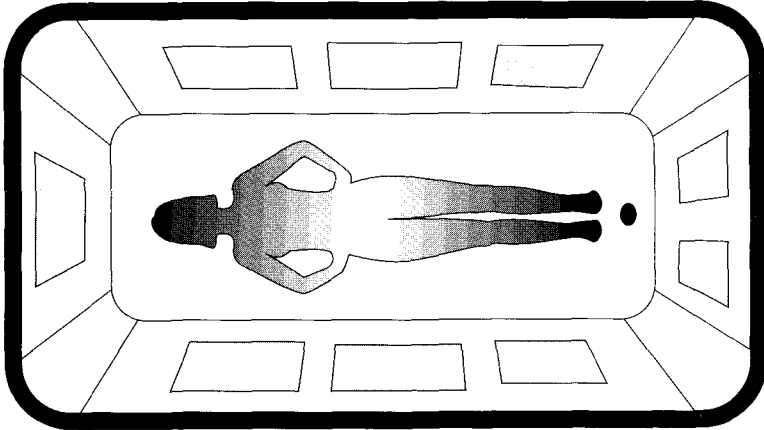


Figura VI.2.

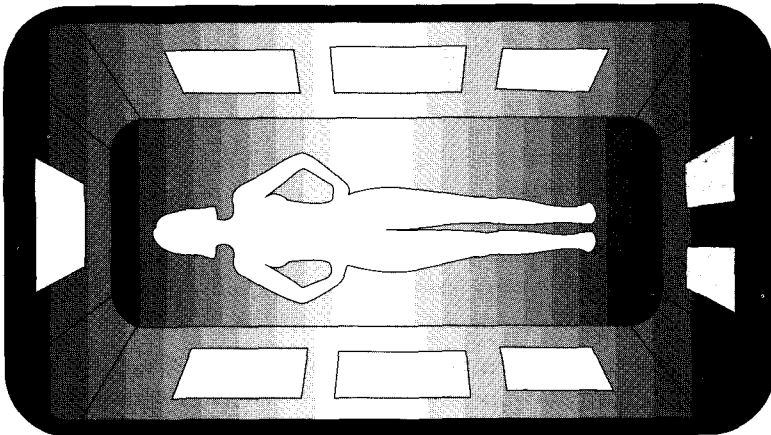


Figura VI.5.

Del primer al segundo caso, apreciamos una diferencia básica consistente en lo siguiente:

- en el primero, en las proximidades del ánodo, tanto en el agua como dentro del organismo, se acumularán iones de carga negativa (–) y en el cátodo iones de carga positiva (+). Por el contrario, en el segundo caso, en la zona polar del ánodo, en el agua se concentran los iones de carga (–) y en el interior del organismo los de carga (+). En el cátodo se da la situación inversa.

Luego son dos técnicas totalmente distintas y de efectos contrarios, dependiendo de si disolvemos sal abundante en el agua de la bañera o no lo hacemos.

La intensidad de la corriente que el paciente debe soportar es muy variable, ya que depende de muchos factores, siendo los más importantes (Fig. VI. 4):

- que los electrodos estén totalmente cubiertos por el agua;
- el número de electrodos conectados;
- que el agua tenga o no sustancias disueltas, nivel de concentración de las sustancias y, sobre todo;
- *la tolerancia del paciente.*

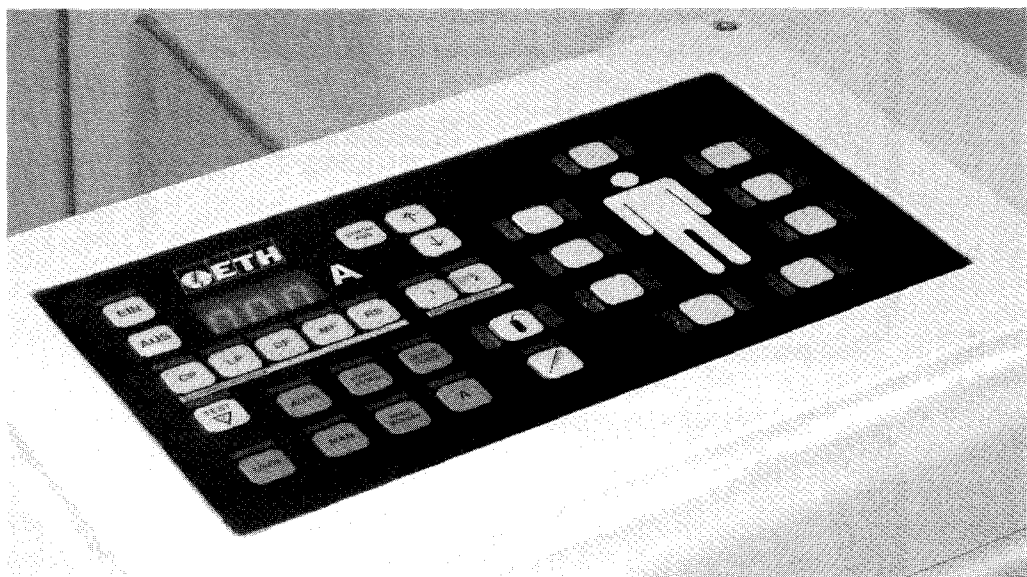


Figura VI.4

Las bañeras vienen preparadas para que nunca superen un máximo de intensidad considerado peligroso, de tal forma que, aunque se quiera, no se podrá sobrepasar dicho límite.

Dado que no es posible indicar intensidades de referencia como norma, la pauta a tener en cuenta es la sensación del paciente, consistente en que **manifieste sensación de picor, hormigueo o calor soportables**, siempre que el paciente no sufra alteraciones en la sensibilidad.

Volvemos a encontrarnos con la duda planteada ante el siguiente hecho:

- suponiendo que aplicamos 500 mA, y no conocemos la resistencia del circuito, ¿estará pasando mucha energía eléctrica o poca? Necesitamos saber la resistencia y el voltaje para poder obtener la potencia real aplicada.

## Tratamientos con la bañera galvánica

Es característico aplicar baños galvánicos en las lumbalgias, dorsalgias y ciáticas después de una competición intensa, descargas emocionales importantes, espasticidad de parálisis centrales, flaccidez, hipertonías, hipotonías, edemas, hematomas, etcétera.

¿Cómo tratar una dorsalgia de origen reumático en la bañera galvánica? (Figs. VI. 6 y 7)

Este tipo de dorsalgias (digamos una fibromialgia) suelen ser generales y crónicas, debidas a procesos degenerativos con cuadros congestivos de los tejidos, procesos de grandes contracturas, poco riego sanguíneo, metabolismo deficiente, alteraciones de los equilibrios iónicos en los líquidos que bañan las células (también transmitido al interior celular), dolor por irritación de las terminaciones nerviosas, atacadas en este caso, por los catabolitos acumulados en la zona. Además de dolores producidos por compresiones mecánicas de las raíces nerviosas en los túneles radiculares con posibles lesiones.

Los objetivos más inmediatos de tratamiento para este caso debemos centrarlos en mejorar el metabolismo de la zona, por un lado, y suavizar la reacción dolorosa de las compresiones nerviosas e irritación de los nociceptores químicos, por otro.

Leámos antes que la aplicación de cargas negativas crean otras de signo opuesto al otro lado de la piel por efecto de rechazo de los iones negativos (los catabolitos) que impiden el adecuado metabolismo e irritan las terminaciones nerviosas (Fig. VI. 5).

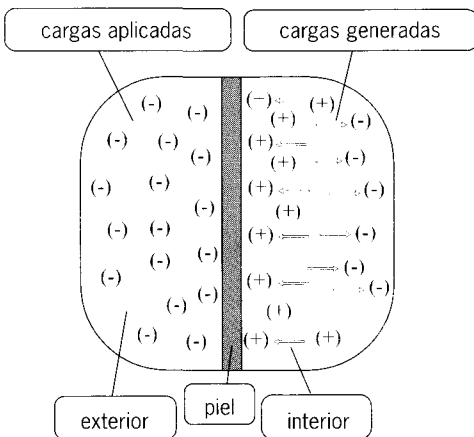


Figura VI.5.

Luego el tratamiento (*sin sal*) consistiría en hacer que el cátodo se localice en la espalda y proximidades, con el fin de hacer el efecto más profundo, generando la *electroforesis* directamente dentro del organismo; si se practica *con sal* en el agua, se aplicará el ánodo para hacer *electroforesis* superficial.

Si este sistema no es suficiente (o incluso contrario a lo esperado) por estar el sistema nervioso muy irritado, tendríamos que aplicar el efecto *descendente* haciendo que un electrodo en la nuca sea (+) y dos (-) en los pies.

El electrodo proximal producirá sobre las raíces nerviosas y axones reacciones de enlentecimiento en los impulsos dolorosos que son conducidos desde la zona afectada, disminuyendo y/o bloqueando los impulsos, mientras que el cátodo en la misma zona, subirá el umbral de polarización y mejorarán los equilibrios metabólicos.

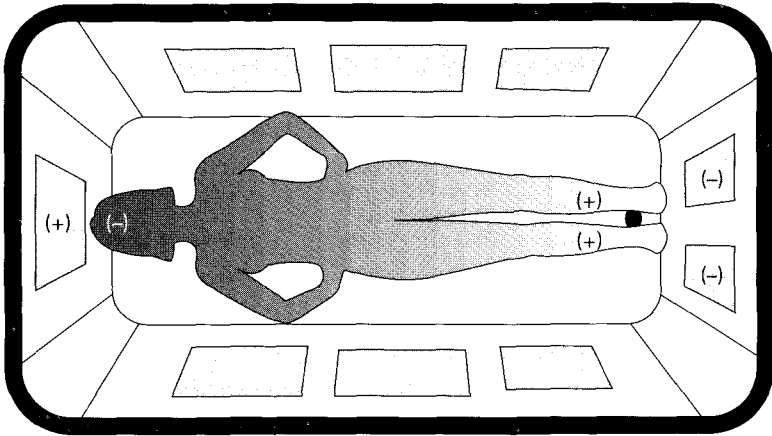


Figura VI.6. Sin sal.

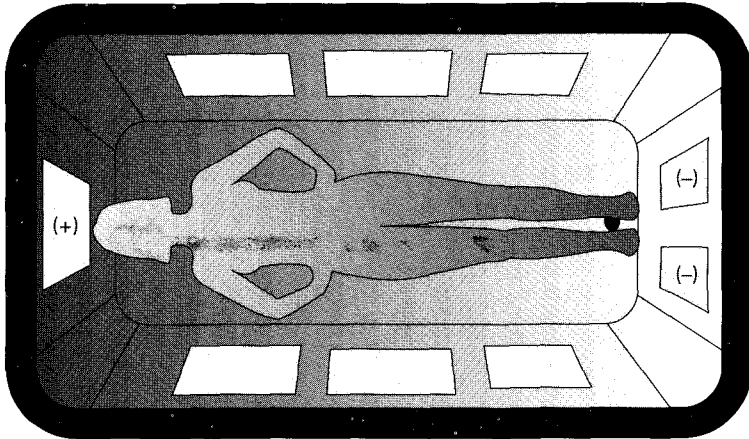


Figura VI.7. Con sal.

### ¿Cómo tratar un miembro inferior edematoso?

Procuraremos que la pierna resulte envuelta por cargas iónicas negativas (-) para desplazar en profundidad los catabolitos acumulados en el líquido intersticial, inmediatamente bajo la piel, hacia la circulación de retorno profunda buscando su absorción y arrastre.

Para conseguir este objetivo, tendríamos que disolver bastante sal en el agua con intención de que los iones  $\text{Cl}^-$  se concentren en la zona polar del ánodo (+) y, a su vez, dicha zona polar se extienda hasta englobar al miembro tratado.

La polaridad o diferencia de potencial creada a ambos lados de la piel, sirve para que las cargas del mismo signo se repelen y se atraigan las de signo contrario, con lo que dentro del organismo se evacuarán los catabolitos, atrayendo a la linfa del miembro los cationes metálicos tan necesarios para que el nivel metabólico sea el adecuado, el cual se encontraba alterado a causa del edema, contribuyendo a la eliminación del mismo (Figs. VI. 8 y 9).

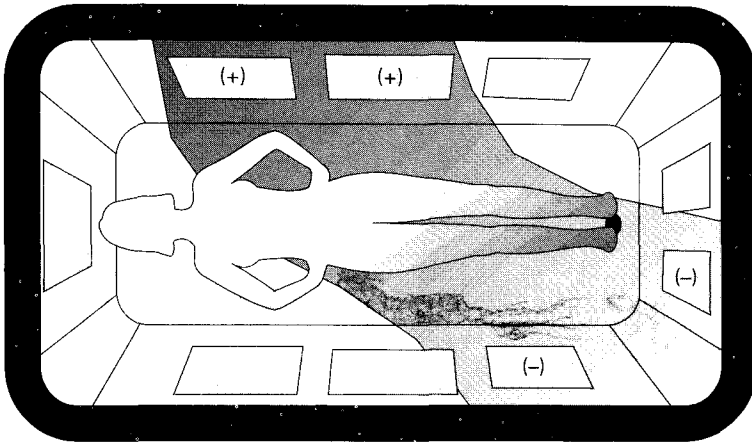


Figura VI.8. Con sal.

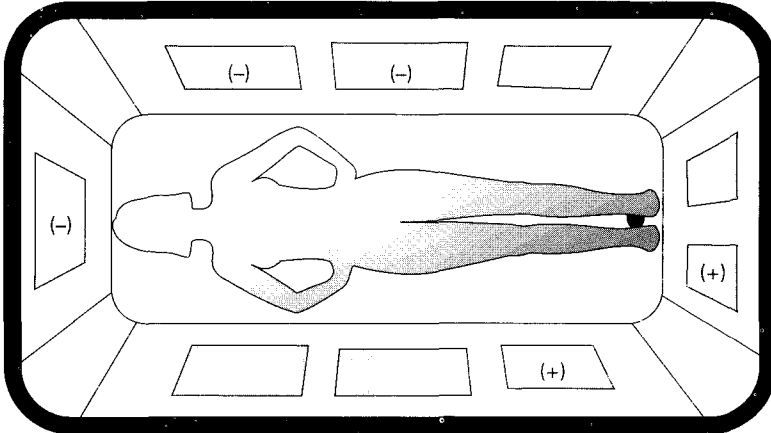


Figura VI.9. Sin sal.

Es habitual escuchar de los enfermos, que se les ha aplicado baños galvánicos con efecto *descendente*, que en las horas siguientes se encontraban soñolientos, pesados, abúlicos, sedados y con dificultades para conducir su vehículo (situación que se les debe prevenir).

Las sesiones suelen durar 10 a 20 minutos. Es conveniente observar las reacciones de cada paciente en las primeras sesiones, ya que cada persona responde con mayor o menor sensibilidad a la intensidad aplicada y a las respuestas biológicas generadas. El paciente debe estar cómodo, bien sujeto y seguro en la bañera, pues es muy fácil que se duerma o, incluso en algún caso, tenga bajadas considerables de tensión sanguínea, favorecidas por la temperatura del agua (la cual no debe pasar de 34 °C, es decir, unos grados por debajo de la temperatura corporal para que el agua todavía pueda refrigerar el calor generado por el organismo) (Fig. VI. 10).

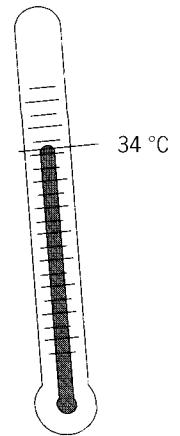


Figura VI.10.

Si además de los comentados efectos del galvanismo, queremos hacer *iontoforesis de medicamento o sustancias curativas* en forma de sales, se pueden disolver en el agua las que creamos adecuadas, que, por otra parte, son frecuentes en la balneoterapia.

Estas sales deben estar formadas por iones de pequeño tamaño o que la piel permita su paso con cierta facilidad a través de ella. Si conseguimos concentrar determinados iones en las proximidades de la piel, creamos presión electroquímica y osmótica alta de dichos iones, y si la piel es membrana permeable a ellos, irán penetrando en el organismo además de provocar concentración de iones de signo opuesto al otro lado de la piel.

La cantidad de sal usada habitualmente como media (aunque depende de tácticas personales y objetivos), la podríamos cifrar en 1 kilogramo por cada 100 litros de agua (1/100).

*Es muy importante cuidar que los pacientes sometidos a baños galvánicos no contengan en su organismo osteosíntesis metálicas, endoprótesis, dispositivos intrauterinos, etc., exceptuando prótesis dentales, dado que normalmente se mantendrán fuera de la influencia del campo eléctrico. Asimismo, el paciente no debe mantener sobre su cuerpo adornos metálicos.*

## Quemadura electrolítica

El galvanismo se emplea para producir quemaduras de pequeñas zonas en alteraciones de la piel: verrugas, papilomas, folículos pilosos, granos, terminaciones nerviosas, nervios transmisores de dolor, etcétera.

*El efecto de electrólisis que debemos evitar en todo momento cuando apliquemos galvanismo, del que estamos hablando hasta este punto como efecto secundario no deseado, es precisamente el efecto que aprovecharemos en este caso, consistente en alterar la estructura química de la materia que rodea al electrodo hasta el punto de destruirla por quemadura electrolítica.*

Hasta este momento, se viene expresando un concepto por el cual tenemos que evitar el contacto directo de los *electrodos metálicos* con las superficies donde aplicamos el galvanismo. Asimismo, dejamos entre la piel y el electrodo una zona ocupada por otra disolución, la cual transmite a la piel los efectos electroquímicos sin llegar a producir cambios químicos intensos.

La técnica que en este punto se estudia, se basa en lo contrario: aplicar el electrodo metálico para que, al llegar los iones al electrodo, se sedimenten y transformen en precipitados de elementos atómicos, eléctricamente neutros que atacarán y destruirán con su acidez o alcalinidad los tejidos próximos al electrodo.

Se usan dos electrodos, uno amplio en forma de placa o cilindro que se aprehende con la mano actuando de *masa* (es metálico para reducir al máximo la resistencia) mientras que el otro, *activo*, posee forma de aguja que se aplica sobre la zona deseada y destinada a quemar (Fig. VI. 11).

La quemadura electrolítica se produce como se viene diciendo:

- *Ánodo*. Quemadura ácida y coagulada.
- *Cátodo*. Quemadura alcalina y licuada.



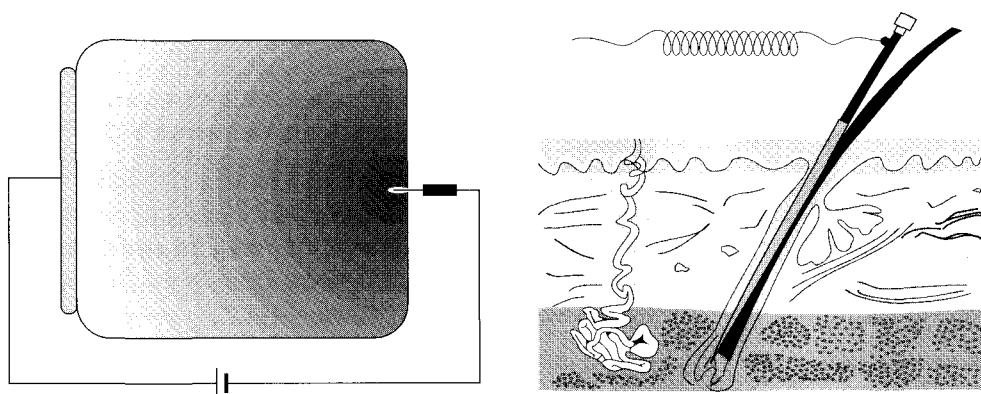


Figura VI.11.

Normalmente, se empleará el cátodo como activo, fundamentalmente por la facilidad para retirar el electrodo de la zona una vez realizada la quemadura.

**Esta forma de galvanismo se usa con frecuencia para la depilación eléctrica (Fig. VI. 11):**

Se introduce la aguja en el folículo piloso, se hace pasar la corriente durante unos segundos y se retira el pelo junto con la aguja electrodo. Se requiere dominio de la técnica y, sobre todo, control de la potencia eléctrica aplicada y tiempo durante el que se aplica (*dosís*).

Otra terapia muy interesante y precisa consiste en la *rizolisis* o destrucción controlada de raíces nerviosas sensitivas, que conduce a dolores persistentes, técnica ésta, menos invasiva que la rizotomía quirúrgica. Veamos en qué consiste:

### La rizolisis o coagulación anódica de la raíz sensitiva

Se basa en provocar el paso de corriente galvánica por un electrodo en forma de aguja, con el fin de producir un foco de coagulación o quemadura en las proximidades y que invada la raíz nerviosa que se desea coagular.

En esta ocasión, como se puede deducir, el electrodo activo (aguja) es el ánodo (+), que causa reacción ácida y coagulación.

La parte más complicada de esta técnica se encuentra en el acceso con precisión a la zona (por localizarse en las proximidades del agujero de conjunción vertebral) y en la dosificación con exactitud para conseguir la agresión pretendida, controlada y que no invada tejidos no previstos.

**Lógicamente es una técnica fuera de la fisioterapia y a realizar en quirófano, pero su mención se hace con el fin de reafirmar conceptos y para demostrar que necesitamos superar nuestra medida de dosis basada simplemente en el parámetro de mA.**

Por lo que se refiere a la localización, se logra con un buen conocimiento anatómico de la zona, con ayuda del amplificador de imágenes y exploración previa por estímulos eléctricos cuadrangulares, buscando que el paciente manifieste sus sensaciones que, escu-

chadas y valoradas de su propia voz, se decidirá si la colocación del electrodo es la correcta o no.

En cuanto a la dosis adecuada, según la experiencia de algunos autores, consideran que para producir un bloque o coágulo de seis mm de diámetro son necesarios 300 julios.

¿Por qué utilizar la unidad de trabajo en Julios? La razón está en la variabilidad de cada factor que influye en una aplicación de galvanismo, factores tales como: *intensidad, voltaje, tiempo y resistencia del tejido*. Parámetros que, al modificar uno o varios de ellos, hacen que cambien los resultados finales; es por eso por lo que se ha de buscar una unidad final a las formulaciones de todos los factores aunque éstos puedan cambiar.

Veamos un caso práctico:

Queremos producir un coágulo de 6 mm de diámetro con 300 J. Disponemos de un aplicador de galvánicas con 12 voltios de salida, intensidad regulable y lo pretendemos hacer en 30 sg. ¿Qué intensidad deberemos aplicar?

Vayamos por partes:

El julio (J) es la unidad de trabajo equivalente al producto de la potencia en vatios (W) por el tiempo en segundos (sg) que se aplica a dicha potencia. Luego  $J = W \cdot t$

Tenemos como variables o valores dados, los julios y el tiempo; como incógnita, los vatios:

$$W = \frac{J}{t} = \frac{300}{30} = 10 \text{ W}$$

Debemos aplicar 10 W durante 30 segundos para producir un coágulo de 6 mm de diámetro.

Pero, el problema nos pregunta la intensidad en amperios (A), que, para hallarla, tenemos que acudir a la ley de Ohm, en la que aplicada a la potencia nos indica:

$$W = V \cdot I; \text{ incógnita } I \text{ en Amperios: } I = \frac{W}{V} = \frac{10}{12} = 0,8 \text{ A}$$

Tal vez parezca mucha intensidad y la sensación de dolor muy alta, por lo que tendremos que alterar el voltaje, la intensidad, el tiempo de aplicación, etc., para que la sensación del paso de corriente (intensidad) resulte lo menos desagradable posible. Pero de manera tal, que, aunque hagamos cambios en los parámetros, los resultados en julios sean los decididos.

La resistencia del tejido influye directamente sobre los parámetros de intensidad y voltaje, en este caso no se ha tenido en cuenta por la adaptación automática del aparato. Es decir, si hubiera poca resistencia, con poco giro del mando de intensidad, se alcanzarían valores altos. Pero, si la resistencia fuera alta, necesitaríamos mucho giro del mando de intensidad para conseguir la misma intensidad del primer intento. El equipo generador de

energía eléctrica deberá trabajar en tensión constante (véase en el capítulo anterior epígrafe sobre la dosis).

## Microgalvanismo

Es una técnica basada en la aplicación de galvanismo en dosis muy bajas, es decir, poca intensidad por  $\text{cm}^2$ . Se realiza con una envoltura de vendas anchas humedecidas por toda la zona a tratar, o incluso por todo el cuerpo, de manera que sea a través de las vendas humedecidas y la piel por donde circule la corriente.

Sobre los vendajes húmedos, se arrollan cintas de goma conductoras, a las que se aplican terminales del cable que llevan la corriente. Dichos arrollamientos de goma quedan separados en dos sectores: *uno proximal y otro distal*. Cada uno de los dos sectores será un polo. A cada sector de goma arrollada se le conectan terminales del mismo polo en varios puntos simultáneamente, los terminales del cátodo o del ánodo, según la polaridad decidida.

El efecto buscado viene dado por la concentración de cargas eléctricas en la zona de venda humedecida y las de signo opuesto que se provocan al otro lado la piel, que queda bajo su electrodo respectivo. Inmediatamente por dentro de la piel, bajo el arrollamiento del cátodo, habrá fuerzas eléctricas (-), mientras que bajo el arrollamiento del ánodo aparecerán (+).

*Precisamente, el efecto de electroforesis consiste en crear cargas eléctricas a un lado de una membrana (piel) para hacer que las cargas del mismo signo existentes al otro lado de la membrana, se desplacen y se alejen de la zona (Fig. VI. 5).*

La técnica de *microgalvanismo* busca este fenómeno sobre el organismo, creando a un lado de la piel fuerzas electromotrices sobre los iones que se encuentran inmediatamente debajo de ella, haciendo que los iones del mismo signo se alejen de la zona y los de distinto signo se concentren; es decir: creamos un condensador en el cual la piel hace de dieléctrico.

Las aplicaciones más indicadas para esta técnica son los procesos edematosos y alteraciones o dificultades metabólicas del tejido celular subcutáneo.

Cuando el metabolismo es deficitario se producen acúmulos de *catabolitos* de carga (-); cuando predominan los edemas, también se acumulan los *catabolitos* en el líquido intersticial.

Luego, si pretendemos resolver el problema con esta técnica, tendremos que aplicar el cátodo (-) en la zona afectada, buscando que los catabolitos sean rechazados a capas más profundas o hacia el ánodo, el cual se aplicará normalmente más proximal o en el miembro opuesto al tratado, con el fin de favorecer la reabsorción de estas sustancias por los grandes vasos circulatorios venosos o linfáticos. No solamente se rechazan sustancias no deseables, sino que también se acumulan otras deficitarias y necesarias.

El nombre de microgalvanismo viene dado por la poca intensidad que se aplica a pesar de la gran superficie de los electrodos, de manera que si dividimos los miliamperios entre los

centímetros cuadrados de superficie considerada electrodo, obtendremos una densidad de energía muy baja, a nivel de microamperios.

Por otra parte, llama la atención el hecho de que las vendas humedecidas no tengan separación o discontinuidad entre electrodos.

Tanto la circunstancia de la baja intensidad más las vendas sin interrupción nos hacen ver que no es buscada la penetración de la corriente eléctrica ni, que circule por dentro de la piel, sino que los electrones circulen por las vendas creando campos de fuerzas eléctricas (pues las vendas humedecidas no pierden continuidad entre ambos electrodos).

## Galvanopalpación

Es una vieja técnica exploratoria consistente en la aplicación localizada sobre la piel en zonas metaméricas (raíz de los dermatomas a ambos lados de la columna vertebral) con galvanismo, para ver la respuesta neurovegetativa y sensitiva de las raíces nerviosas según que inerven un órgano o metámera afectos de patología o sano (véase figura VI. 12 explorando una epicondilitis); es decir, si disponemos de:

- a) un aparato de galvanización;
- b) de un electrodo con su gamuza grande (digamos 10 · 15 cm) que actúe como masa o pasivo y
- c) un electrodo rodillo metálico (en su defecto un electrodo puntual metálico o recubierto de gamuza humedecida), que será deslizado sobre las zonas colaterales a las espinosas para explorar las respuestas de enrojecimiento, vasodilatación local y sensación dolorosa. Reacciones atribuibles a las terminaciones nerviosas sensitivas y vegetativas de la raíz metamérica explorada.

Esta prueba también se practica en cualquier otra zona corporal que manifieste patología (o que deseemos localizarla y objetivarla) y con otras corrientes diferentes de la galvánica, tales como las diadi-

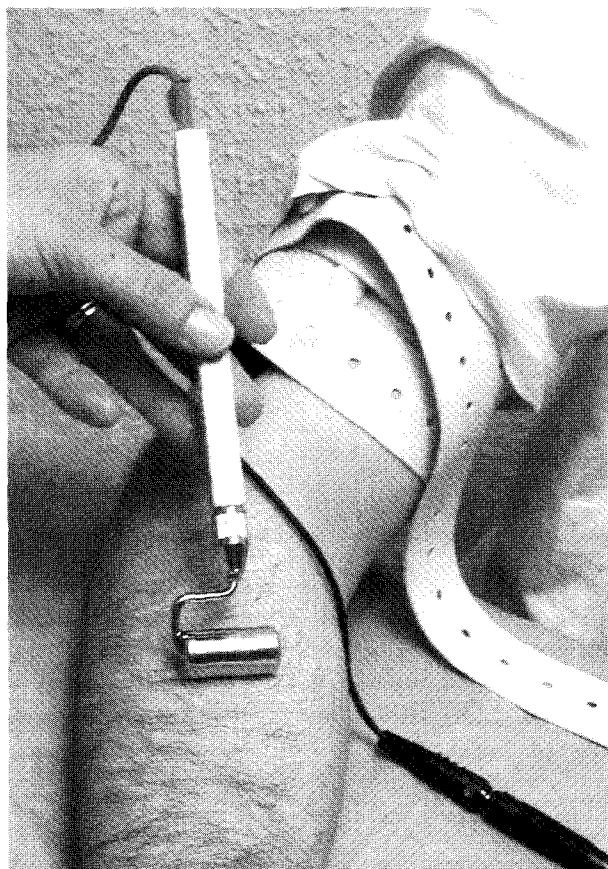


Figura VI.12.

námicas, corriente ultraexcitante de Trabert y otras que poseen componente sensitivo más definido; en los últimos tiempos se ha practicado con las corrientes generadas por el TNS.

De lo dicho se deduce que cuando una determinada raíz nerviosa está inervando un órgano o zona sometida a patología, si a dicho nervio se le estimula galvánicamente en la zona de su nacimiento, y coincide donde da ramificaciones con los ganglios vegetativos, éste responderá con manifestaciones neurovegetativas más intensas que si inervara a un órgano sano. **Siempre que estimulemos una zona inflamada, la sensibilidad dolorosa aparecerá con facilidad debido a la hiperexcitabilidad de las terminaciones que en otras circunstancias transmitirían estímulos de percepción sensitiva superficial, profunda o información propioceptiva.**

La técnica consiste en ir aplicando (más propiamente dicho, *deslizando*) el electrodo exploratorio durante unos instantes sobre las raíces nerviosas (en caso de dificultad para el deslizamiento, podemos aplicar gel de US sobre la zona a explorar). El electrodo de masa se aplicará a distancia y en una zona equidistante de la exploración, como puede ser el abdomen.

La intensidad aplicada debe estar en todo momento controlada para impedir situaciones de molestias agudas e inesperadas del paciente. La intensidad no debe pasar de 1 a 1,5 mA medidos sobre el aparato, pero, si analizamos dicha intensidad detenidamente, vemos cómo la intensidad por  $\text{cm}^2$  (densidad de energía) realmente es alta debido al pequeño tamaño del electrodo activo, circunstancia que, en este caso, es *fundamental*.

Como electrodo activo se usa uno exacto de reducidas dimensiones (aproximadamente  $1 \text{ cm}^2$ ) que debe ser el *ánodo*, por buscar situaciones de sensibilidad exacerbada, debido a su fuerte efecto irritante, tanto para sensibilidad alterada como para la que no lo está. Las alteraciones serán más difíciles de detectar si se aplica el *cátodo*. En caso de usar otras corrientes con mayor respuesta sensitiva, aplicaremos el cátodo (-).

No se debe levantar el electrodo mientras se aplica corriente, ya que ello significaría una sensación de calambre y fuerte picor para el paciente cuando se entra en contacto con el apoyo del electrodo o se retira éste, circunstancia que puede conducir a información errónea.

El contacto del electrodo debe ser firme, sin posibles fallos en la sujeción ni tampoco excesivas presiones que reducirían mucho la resistencia entre el electrodo y la piel, pudiendo producir quemaduras, aunque no son fáciles por el poco tiempo que se mantiene el electrodo quieto (uno a tres segundos). **El electrodo exploratorio debiera ser puntual y giratorio a la vez, para que ruede sobre la piel en lugar de desplazarse con roce.**

También podemos utilizar este sistema en otras zonas reflejas del tejido conjuntivo (puntos neurolinfáticos de Chapman) sobre las que observaremos respuestas acentuadas de:

- sensibilidad dolorosa;
- vasodilatación llamativa y
- enrojecimiento local.

## Hiperhidrosis

La hiperhidrosis consiste en una sudoración exagerada y localizada en algunas zonas del organismo (principalmente en plantas de manos y pies). Su origen y posibles causas no

están bien controladas y definidas. Pero, sí ha quedado demostrado que la aplicación de galvanismo sobre la zona afectada consigue reducir la hipersudoración.

No se trata de sesiones de iontoforesis con sustancias terapéuticas. Simplemente, se introducen los segmentos corporales afectados en sendas cubetas con agua potable del grifo, a fin de que éste, el grifo, actúe de electrodo y dentro del agua. Utilizaremos electrodos de goma conductora (no introducir electrodos metálicos) (Fig. VI. 13).

Aunque en algunos casos no parece ser muy eficaz, en gran parte de ellos se obtienen buenos resultados aplicando sesiones repetitivas durante temporadas de varios meses (una media de tres meses), con sesiones diarias al principio y en días alternos al final. Es importante seguir después de haber conseguido los resultados y objetivos pretendidos, hasta completar un año con una dosis de recuerdo por semana.

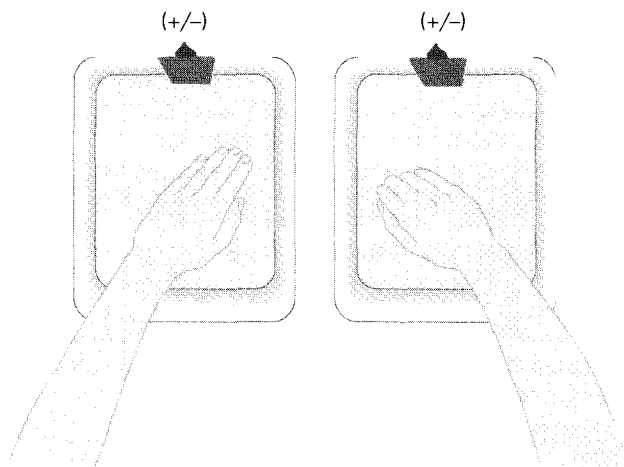


Figura VI.13.

Dependiendo del origen, la polaridad aplicada puede ser el (+) ánodo o el (-) cátodo. En los procesos con sudor ácido (pH bajo), el (-) resultará más eficaz, pero en los casos de sudor alcalino, el (+) será más adecuado. En otras circunstancias, es indistinta la polaridad o iremos detectando a lo largo del tratamiento el predominio de una polaridad sobre la otra, pero ambas conseguirán resultados positivos.

En cuanto a la colocación de electrodos, podemos conformar el sistema con un electrodo en cada cubeta de las manos o de los pies (Fig. VI. 13). También un electrodo grande sobre el plexo y el otro dirigido a la mano o pie introducidos en la cubeta. Otra opción consiste en aplicar un polo en la cubeta de la mano y el otro en la cubeta del pie. La más cómoda es la primera, pero implica estar pendiente de la evolución por sus respuestas ante la polaridad, realizando cambios durante el tratamiento. Si la polaridad fuese decisiva, se buscaría la colocación más indicada.

Las sesiones suelen durar entre 15 y 20 minutos, aunque las primeras deben ser de tanteo en cuanto a tiempo e intensidad. La intensidad dependerá mucho del electrodo más pequeño tratando de que circule la dosis recomendada de  $0,15 \text{ mA/cm}^2$ . En este caso, no es fácil calcular la superficie, dado que el contacto del agua con la piel será el tamaño del electrodo.

Lógicamente se eliminarán todas las piezas de joyería y adornos metálicos en las manos del paciente, así como las del cuello. Si la corriente establece un circuito que pueda afectar al corazón y el paciente tuviera un marcapasos, no se aplicaría este tratamiento.

## Contraindicaciones y precauciones con la galvánica

**Endoprótesis u osteosíntesis.** Se viene diciendo reiteradamente que si los electrodos metálicos están en contacto directo con la disolución, sobre éstos se depositan las sustancias neutralizadas en forma de sólidos, líquidos o gases (circunstancia que no debe darse dentro del organismo), ya que si, por ejemplo, el sodio (Na) sólido se deposita sobre los metales de las endoprótesis, tiene una capacidad de oxidación muy alta y reacciona violentamente con el agua: ello no debe ocurrir en nuestro cuerpo.

Luego, una causa de contraindicación (habiendo metales implantados) es la de evitar reacciones electrolíticas no deseables que puedan desencadenar fuertes reacciones de rechazo del implante metálico, aunque no actúe como electrodo, pero dada la conductibilidad del metal, se acumularán en él fuertes cargas eléctricas que lo convertirán en un *seudoelectrodo*.

La quemadura nunca será por acúmulo de calor en el metal, pues éste, aunque conduzca mucha electricidad, al no oponer resistencia no se generará ni se transformará la energía eléctrica dentro del metal.

De todas formas, se debe apuntar en este lugar, que dado que en las disoluciones orgánicas la actividad electroquímica es alta, sin aplicación de galvanismo, se producen ataques y reacciones químicas con respuesta variada y de distinta intensidad por parte del sistema inmunitario.

**Marcapasos.** Los marcapasos son aparatos de precisión, necesarios para el control cardíaco y para evitar que el ritmo de los impulsos producidos por él se vea afectado mediante cualquier interferencia eléctrica. Luego evitaremos que cualquier tipo de aplicación en electroterapia pueda invadir el campo de actuación del marcapasos cardíaco.

Si la cubierta del marcapasos es metálica, también le haremos partícipe de las precauciones del apartado anterior.

**Problemas cardíacos.** En otras ocasiones no existen marcapasos, pero el sistema generador de impulsos cardíacos se encuentra muy afectado por diversas patologías, de modo y manera que, si dicho sistema se ve influenciado por campos eléctricos, podemos alterar el ritmo y la aparición de extrasístoles o ausencias extemporáneas de latidos (arritmias en general).

**Embarazo.** Por precaución y por falta de conocimiento sobre lo que ocurre en las disoluciones fetales (con un metabolismo y mitosis altísimos) es muy conveniente abstenerse de aplicar todo tipo de corrientes con el fin de influir lo menos posible en el proceso de gestación natural.

**En procesos cancerígenos.** Los tumores malignos son agrupaciones de células que han perdido los controles de su función, de su metabolismo y de su reproducción, por lo que las influencias electroquímicas del exterior *tal vez* contribuyan a un mayor descontrol favoreciendo al proceso patológico, por tanto, mejor evitaremos esta técnica.

**Tromboflebitis.** Hay que diferenciar si el proceso es de inicio trombótico o flebítico, dado que, con las debidas precauciones, puede estar indicada la galvanización:

- 1) Si estamos ante un fuerte proceso inflamatorio, sería conveniente frenar dicho proceso con la aplicación del *ánodo* y dosis pequeñas, como electrodo activo en la zona, aunque, a su vez, favorece que el trombo aumente de tamaño (situación muy contraindicada).
- 2) Pero, si el proceso inflamatorio no es tan importante y sí lo es, en cambio, el trombo, tendríamos que aplicar el *cátodo* como electrodo activo, pero con la dosis suficientemente baja como para impedir una rápida destrucción del coágulo y lo suficientemente alta para que sea eficaz. ¿Cuál será la dosis? Hasta que no se trabaje con la adecuada precisión, será mejor no correr riesgos que entrañen graves patologías.
- 3) Otra posibilidad es la de aplicar heparina con iontoforesis junto con la precaución de que la dosis galvánica sea muy baja y la concentración de heparina también tienda a estar diluida para evitar situaciones de descontrol en la zona afectada.

**Precaución en las zonas próximas a glándulas endocrinas.** Cuando hagamos aplicaciones de galvanismo que no vayan destinadas a influir directamente en dichas glándulas, debemos tener en cuenta su presencia o cercanía, ya que, al verse afectadas, provocaríamos efectos a nivel general que no son buscados ni deseados.

**Tratar de evitar efectos contradictorios.** Debido a que los efectos del galvanismo se clasifican en *polares, interpolares y sobre el sistema nervioso*, tendremos que considerar que en todo momento actúen los tres simultáneamente y valorar las posibilidades de colocación de electrodos y polaridades seleccionadas, evitando que alguno de los efectos no sea el contrapuesto o contradictorio al objetivo del tratamiento.

**Piel en mal estado o con heridas.** Normalmente, los fisioterapeutas, siempre que aplicamos galvanismo, lo hacemos mediante técnica transcutánea. Esto significa que la zona de piel sobre la que se colocan los electrodos debe reunir condiciones de normalidad, ya que se cuenta que esa piel proteja con un mínimo de resistencia homogénea. En caso de presentar excoriaciones o soluciones de continuidad, manifestará en ese lugar una disminución importante de la resistencia. Y por ese punto, el de las excoriaciones, se producirá concentración excesiva de energía eléctrica, la cual, probablemente, provocará lesión o quemadura de los tejidos.

Todo lo antes dicho se aplicará con mayor rigor sobre heridas, aunque sobre este tema existe cierto nivel de polémica por parte de algún autor, que pretende mejorar el trofismo de las úlceras por decúbito mediante pequeñas dosis de galvanismo con el *cátodo*, el cual alcalinizaría el ambiente de los tejidos vecinos a la úlcera (tal vez sea interesante valorar dicha posibilidad).

Sin embargo, existe una técnica para el tratamiento de las referidas úlceras, con corrientes en las que se evita todo componente galvánico, lo que, en cierto modo, contradice a lo anterior relativamente, puesto que los mecanismos de actuación son distintos (tema que se expondrá en su momento y en el capítulo de la técnica de estimulación nerviosa transcutánea).

**Alteraciones en la sensibilidad del paciente.** No es tan importante que el paciente pueda o no informarnos de las sensaciones recibidas cuando se le aplica galvanismo, sino su respuesta neurovegetativa de defensa ante la corriente galvánica.



Si el paciente no puede responder (pues la parálisis será motora, sensitiva y vegetativa) con mecanismos de defensa ante sus alteraciones electroquímicas, corremos serios riesgos de quemaduras o alteraciones electroquímicas por encima de los objetivos marcados.

**Precauciones ante respuestas neurovegetativas exageradas.** En ocasiones nos encontramos con pacientes que manifiestan fuertes respuestas neurovegetativas (generalizadas o locales) o alérgicas ante el galvanismo. Es por esta razón que, al iniciar los tratamientos, debemos hacerlo con precaución, administrando dosis bajas y tiempos cortos como táctica de observación a la respuesta del paciente. Si la respuesta es normal, a la segunda o tercera sesión normalizaremos el tratamiento en dosis y tiempos.

## Imanterapia

Puede parecer que la imanterapia tiene que ver con el magnetismo más que con la corriente galvánica. Pero existe un fenómeno que se da preferentemente en la aplicación de imanes continuos sobre el organismo similar al del galvanismo.

El referido fenómeno magnetoeléctrico recibe el nombre de efecto **hall**, consistente en que cuando se aproxima un campo magnético a uno eléctrico *en movimiento*, éste se desvía de su trayectoria acercándose o alejándose del imán según la polaridad del campo magnético.

El polo *sur* provoca alejamiento de los electrones, mientras que el polo *norte* produce acercamiento en su trayectoria de movimiento (Fig. VI. 14). **Sur, separa de sí a los electrones; norte, negativiza la zona de aplicación.**

Si aproximamos un imán al organismo, éste hará las funciones de conductor, y las cargas eléctricas en movimiento serán los iones de las disoluciones internas, dado que los iones no se mantienen inmóviles, sino que están sometidos a un constante movimiento Browniano.

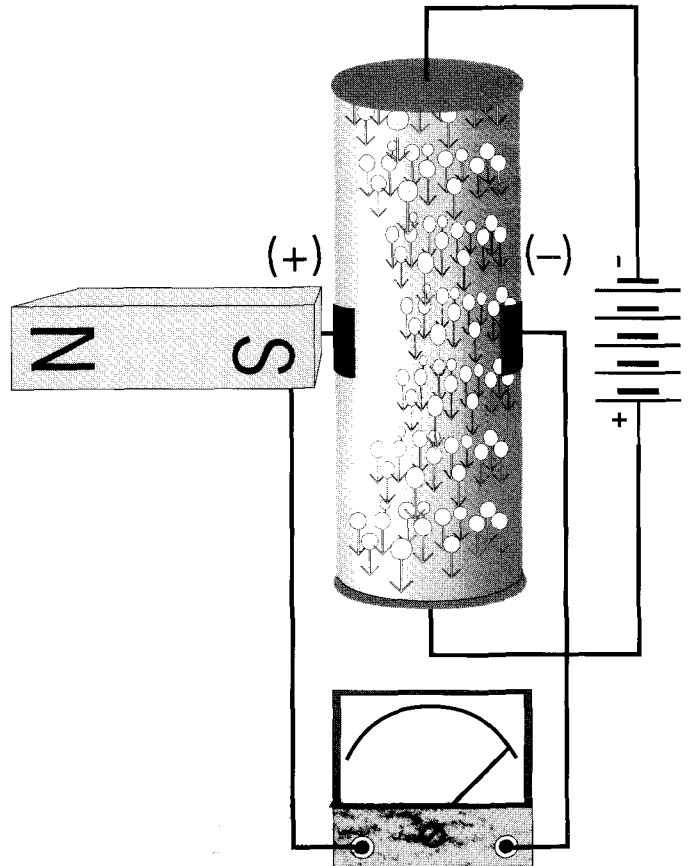


Figura VI.14.

Los iones con carga (-) serán desviados de sus trayectorias con tendencia al alejamiento de la zona si el polo magnético es el *sur*, mientras que los de carga (+) tenderán a concentrarse en las proximidades del imán. En el caso de que el polo fuera el *norte*, se invertiría el proceso.

Según lo expuesto, la aplicación de imanes permanentes coincidirá con los mismos efectos que una aplicación de galvanismo con intensidades muy bajas.

El polo norte tiende a acumular en sus proximidades a los iones de carga (-), semejante al ánodo. El polo sur tiende a concentrar los de carga (+), en semejanza con el cátodo.

### Osteogénesis u osteolisis

Se ha descubierto que si en las proximidades del hueso se consigue crear un ambiente de *electronegatividad*, aparece una tendencia al aumento de osteoblastos o células regeneradoras de hueso, pero, si se crea *electropositividad*, tienden a proliferar los osteoclastos o células destructoras de hueso.

Normalmente, nos interesará el campo de electronegatividad con fines osteogénicos. Pero este ambiente electronegativo no debe ser excesivo ni muy pequeño, pues el adecuado se considera bueno dentro de los siguientes parámetros:

**de 5 a 20 microamperios con 1 a 1,5 voltios**

Este ambiente eléctrico se puede crear perfectamente con corriente galvánica, aunque lo difícil es saber o poder calcular si los parámetros recibidos en las proximidades del hueso y en el lugar deseado son los indicados (Fig. VI. 15).

Si aplicamos directamente los referidos parámetros, los tejidos existentes entre la piel y el hueso presentarán una resistencia tal, que provocará caídas de tensión e intensidad.

En caso de aplicar parámetros más altos en intensidad o en voltaje con la idea de compensar la caída energética en el trayecto, necesitamos saber cuánta es dicha caída, situación que requiere de aplicaciones con equipos adecuados y mucha precisión, además de investigar previamente estos fenómenos.

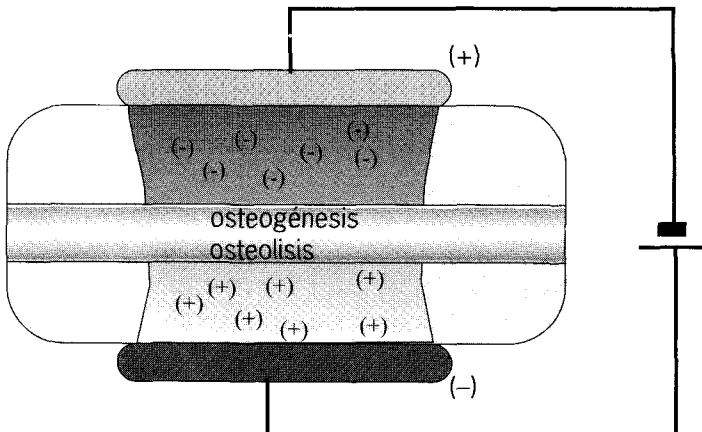


Figura VI.15.

El magnetismo, mediante el efecto **hall**, también generaría situaciones similares. Pero, es necesario saber la intensidad del campo magnético, la distancia al foco o lugar de aplicación, la polaridad del imán, si el campo magnético debe ser continuo o pulsátil, etcétera.

## Objetivación de los cambios biológicos

Este epígrafe es recomendable para quienes están interesados en investigar con las respuestas metabólicas.

Se viene aseverando que si aplicamos energía eléctrica o electromagnética al organismo, provocaremos alteraciones bioquímicas en los tejidos y fundamentalmente en el ambiente o líquido intersticial. Para demostrarlo necesitamos de pruebas químicas en laboratorio o de alguna otra que, con menos agresividad, nos informe del comportamiento electrobioquímico.

Se ha diseñado un equipo electrónico (denominado «DD 4.000 A» para *diagnosís diferencial cuántica* de Euromedical Clinic S.A.) que trata de medir y mostrar gráficamente el comportamiento del ambiente intercelular en la superficie corporal (dado que no es agresivo ni invade el interior de los tejidos), basándose en los siguientes fenómenos:

- 1) cuando aplicamos una corriente galvánica o interrumpida galvánica al organismo, ésta provocará movimiento y concentraciones de los respectivos iones en las proximidades de los electrodos;
- 2) dependiendo de las condiciones metabólicas de los tejidos y de los parámetros de la corriente aplicada, conseguiremos mayor o menor respuesta de cambios electroquímicos;
- 3) a lo largo de la sesión, la resistencia y comportamiento eléctrico de los tejidos van cambiando debido a la mayor o menor concentración de iones que facilitarán o frenarán el paso de energía eléctrica;
- 4) si la corriente aplicada lo es en forma de impulsos de subida brusca, aparecerá un impedimento o resistencia del tejido a ser invadido bruscamente por cada impulso;
- 5) nada más haber aplicado un impulso, parte de la energía inyectada es devuelta en un determinado porcentaje;
- 6) dependiendo de la potencia aplicada en cada impulso (recordemos que potencia es igual a voltaje por intensidad) y de su cadencia entre impulsos (frecuencia), el organismo opondrá mayor o menor impedancia o devolverá más o menos energía.

Partiendo de estas premisas, el referido equipo aplica una corriente *en tensión constante* formada por impulsos cuadrangulares (regulables) de muy corta duración, 0,1 m de media, en una frecuencia (regulable) de 3.000 Hz de media y un voltaje (también regulable) de unos 10 V. Asimismo, es necesario señalar en los parámetros un límite máximo de energía aplicada, expresada en milivatios, de forma tal que, cuando un impulso alcanza los milivatios indicados como límite, corta su funcionamiento.

Además de inyectar los pulsos de energía, la electrónica computerizada del aparato se encarga de medir en tiempo real y, rápidamente, los parámetros de voltaje aplicado, la

intensidad que pasa, la potencia absorbida, la resistencia capacitativa del tejido, el porcentaje de energía devuelta (resistencia inductiva) etc., y procesa los datos para reflejarlos en trazados sobre gráficas diseñadas al efecto, tratando de indicar los distintos comportamientos según el estado electroquímico del tejido explorado.

Como la técnica se realiza en tensión constante, ante tejidos normales, el equipo aplica los voltios prefijados, pero, si la resistencia es elevada, sólo se absorberá una pequeña parte de energía. Esta pequeña parte de energía, por su componente polar, provocará alteraciones y concentraciones iónicas. El siguiente impulso contribuirá a acentuar la alteración iónica, los sucesivos irán produciendo un efecto sumativo que disminuirán la resistencia y descargarán mayor energía en vatios (Fig. VI. 16). **Pero siempre que el medio intercelular disponga de suficientes electrolitos o permita el adecuado desplazamiento de estos por el medio.** En caso de comportamientos deficitarios, se reflejará gráficamente que se necesita mucha energía para superar la oposición del medio y también más tiempo para conseguirlo.

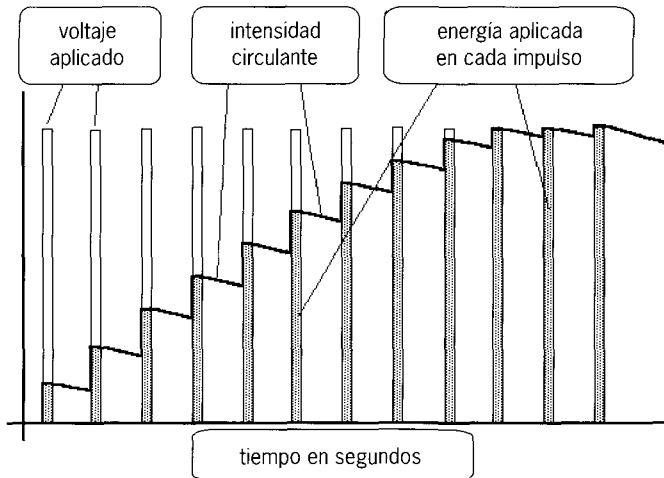


Figura VI.16.

Recordemos la fórmula indicadora de la potencia media o eficaz, según la cual sabremos la energía realmente absorbida:

$$W_{(media)} = W_{(de\ pico)} \cdot t_{(imp\ en\ sg)} \cdot F_{(en\ Hz)}$$

Los tejidos normales presentan trazados característicos, que indican que se absorben 100 mW por pulso en un tiempo de 2 a 3 segundos. Pero, en caso de tejidos edematosos, es probable que transcurran de 10 a 15 segundos sin que se absorba energía alguna para comenzar, a partir de este punto, a mostrar un trazado de absorción muy lento (Figs. VI. 17 y 21).

Los fabricantes lo comercializan como equipo para el diagnóstico tisular y como tratamiento; pues una vez detectado un tejido alterado, se le aplicará una corriente con mayores parámetros energéticos que en la exploración, buscando conseguir los cambios deseados que conducirán a crear un mejor ambiente intercelular, el cual aumentará la polarización de membrana y todas sus consecuencias fisiológicas.

Resumiendo, el equipo diseñado al respecto refleja dos parámetros: energía que absorbe y energía que devuelve. Ello no es otra cosa que medir la impedancia de los tejidos y su evaluación según se aplican energías. Por ser el organismo un conductor de segundo orden, los cambios químicos provocan variaciones en el comportamiento resistivo, siendo la rapidez de respuesta la función más importante a valorar.

Es curioso observar cómo cambian las respuestas de tejidos sanos a tejidos afectados por edemas, inflamación, tumefactos, desnutridos, poco hidratados, etcétera.

Los diseñadores aportan el dato referido al nivel de polarización de la membrana en la zona, expresado en milivoltios, o conseguir un determinado nivel de polarización de membrana con el tratamiento, basándolo en cálculos matemáticos derivados del comportamiento eléctrico tisular. No cabe duda de que los cambios electroquímicos del ambiente intercelular influyen directamente en el nivel de polarización, pero el estado intracelular o la forma de trabajar la membrana también influyen en el proceso. Aunque siempre se podrá afirmar que el medio intersticial es distinto de acuerdo con la impedancia medida en los tejidos.

*Hasta ahora veníamos afirmando y teorizando sobre los cambios electroquímicos que se generan con nuestras corrientes: aportando conocimientos, datos, respuestas fisiológicas, comentarios del paciente, resultados comprobados, pruebas molestas o cruentas para el paciente; pero no podíamos saber en qué proporción conseguíamos cambiar el ambiente biológico de los tejidos, si la influencia era excesiva o insuficiente, si la dosis era poco o excesiva, si la polaridad era adecuada o equivocada, etcétera.*

Por ejemplo, ¿tendrá algún efecto biológico acercar (sin tocar la piel) un imán a una zona afecta de patología?; ¿cuál será el polo adecuado?; ¿el efecto será positivo o no deseado?; ¿durante cuánto tiempo de aplicación?; ¿se mantienen los efectos tras los hechos o se pierden enseguida? Preguntas que, si practicamos una previa exploración y otra después de la imanoterapia con el equipo del que estamos tratando, podremos comparar y llegar a conclusiones tal vez muy interesantes. Pero queda mucho por depurar en esta técnica, dadas sus grandes posibilidades de aplicación.

La forma de aplicar, tanto para exploración como para el tratamiento, es muy simple:

- se le informa al paciente que puede llegar a sentir un ligero hormigueo eléctrico;
- el paciente toma en una mano un electrodo metálico cilíndrico a modo de masa;
- se aplica un electrodo manual y exacto con una superficie de contacto eléctrico semejante a la punta de un bolígrafo sobre la zona a explorar o tratar;
- en los mandos de manejos se regulan los parámetros deseados;
- se inicia la aplicación y, normalmente en unos segundos, el equipo detiene su trabajo por alcanzar los parámetros indicados. En los casos en que no se alcancen las condiciones señaladas, el aparato lo seguirá intentando, pero como observamos sobre la marcha los resultados (trazados en la pantalla) podemos darnos cuenta de errores en la polaridad o de la imposibilidad de conseguirlo por el comportamiento de los tejidos;
- la polaridad elegida es importante, pues se debe aplicar positivo para problemas agudos («itis») y negativo para problemas crónicos («osis»);

- si en la forma diagnosis o exploración se observan alteraciones, se pasa a tratamiento para corregir las deficiencias detectadas.

### Curvas características del comportamiento biológico

La casa fabricante aporta información orientativa sobre algunos comportamientos más característicos de los tejidos, reflejados en otros tantos trazados.

En los estados de normalidad, en el transcurso de 2 a 4 segundos, se alcanza una buena conducción y rápida respuesta iónica junto con bajos niveles de rechazo energético, manteniéndose, así, indefinidamente (Fig. VI. 17).

Ante los tejidos tumorales, parece obtenerse una trayectoria en la que se aprecia que los tejidos únicamente admiten, indefinidamente, una pequeña cantidad de energía (Fig. VI. 18).

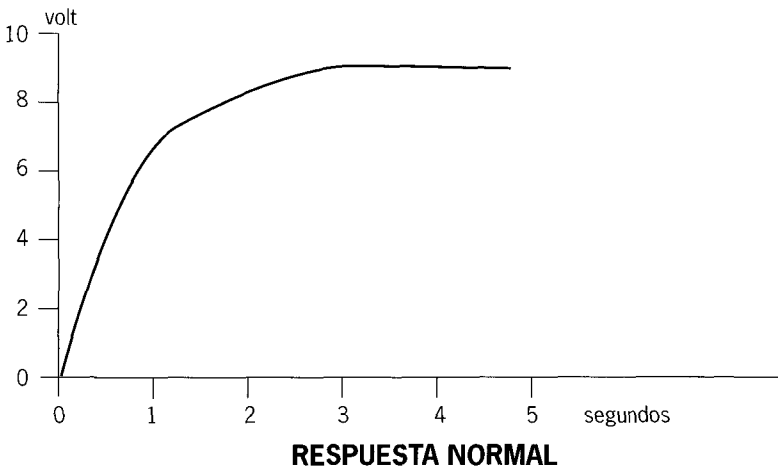


Figura VI.17.

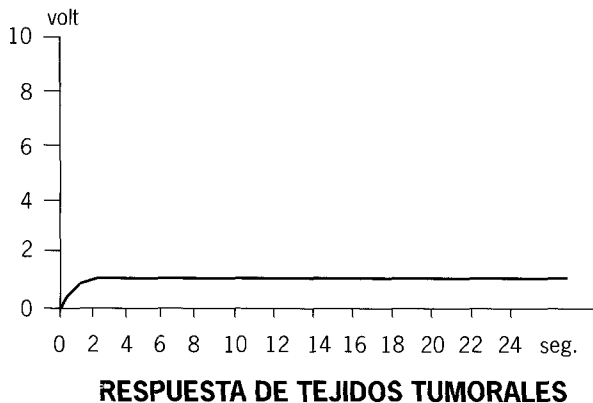


Figura VI.18.



Figura VI.19.

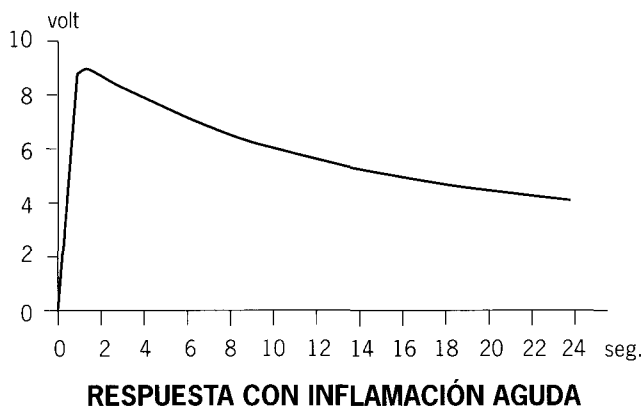


Figura VI.20.

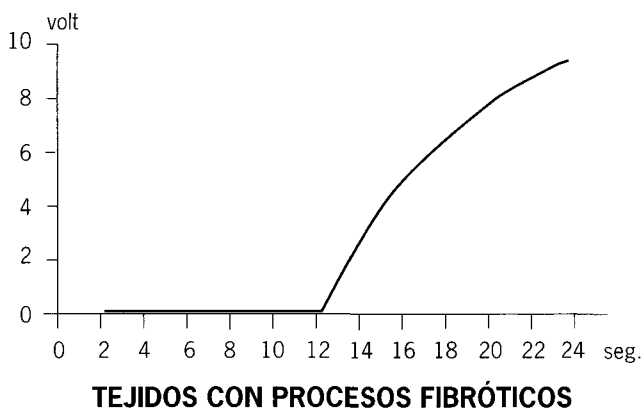


Figura VI.21.

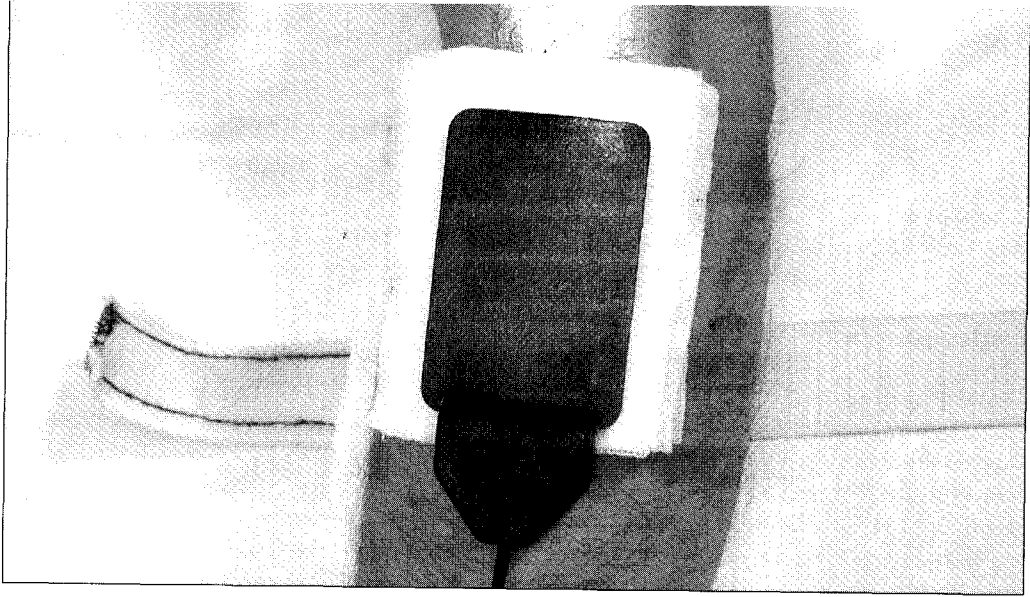
Los autores interpretan las oscilaciones en la regularidad u homogeneidad de la curva, como respuestas alérgicas en la zona (Fig. VI. 19).

Ante una situación de inflamación severa y aguda, la zona conduce con rapidez y mucha facilidad debido a su alto nivel metabólico, pero transcurridos unos segundos se pierde capacidad de conducción y de absorción de energía por causa de la descompensación iónica. Para regularizar este comportamiento, se aplicaría como terapia el polo positivo con idea de «reducir el exceso de energía», según los diseñadores del equipo (Fig. VI. 20).

Cuando los tejidos se hallan bajo la influencia de patologías por déficit circulatorio, inflamación fría, comienzos de reacción fibrótica, etc., la respuesta se hace esperar, pero al cabo de unos segundos la curva puede tender a la normalidad, siempre que la alteración no sea importante. Tal vez, éste sea el trazado más habitual en los procesos reumáticos y fatiga de tejidos (Fig. VI. 21).

Esta breve introducción puede servir para crear inquietud y deseos de investigar, pues se inicia un camino que, al menos, nos indica si la técnica aplicada ha conseguido cambios en la electroquímica de los tejidos, así como en cuanto a cantidad y calidad. Con esta técnica tal vez podamos dar respuestas a las preguntas planteadas.





## CAPÍTULO VII

# Iontoforesis

Una de las aplicaciones características de la corriente galvánica está basada en el efecto de *electroforesis*, consistente en el rechazo de iones de la misma polaridad que el electrodo.

Si se deposita en la gamuza (humedecida con agua destilada), que interponemos entre la parte metálica del electrodo y la piel, una sustancia de tipo medicamentoso, ésta será repelida o mantenida en la gamuza, dependiendo de la polaridad del electrodo y de la polaridad iónica del radical activo del medicamento en cuestión.

- *Cátodo (-) ion (-): el ion se introduce en el organismo.*
- *Ánodo (+) ion (+): el ion se introduce en el organismo.*
- *Cátodo (-) ion (+): el ion es mantenido en la gamuza y puede que reaccione electrolíticamente con el electrodo hasta perder su composición y propiedades iniciales.*
- *Ánodo (+) ion (-): el ion es mantenido en la gamuza y puede que reaccione electrolíticamente con el electrodo hasta perder su composición y propiedades iniciales.*

La *iontoforesis* tuvo en su momento mucho auge y se prepararon fármacos para tal fin, indicando polaridad e informando de sus cualidades para este tipo de aplicación. Hace algún tiempo, se dejó de lado esta técnica debido al poco dominio de la misma por parte de los fisioterapeutas. Últimamente, prolifera su uso atendiendo más a modas que van suce-

diéndose, como en tantas otras cosas, pero sin dejar de ser una posibilidad con sus ventajas y desventajas, de la cual Leduc demostró su efectividad con el siguiente experimento:

### Experimento de Leduc

Tomó dos conejos unidos entre sí por electrodos empapados en agua para cerrar el circuito, que se formaría al aplicar a un conejo el ánodo y al otro el cátodo (Fig. VII. 1). El ánodo empapado en una solución que contiene estricnina; el cátodo empapado con solución otra que tiene cianuro. Al hacer pasar la corriente, a los pocos instantes, el conejo al que le fue aplicado el ánodo muere con los síntomas característicos del envenenamiento por estricnina. Mientras, el otro muere con los síntomas característicos del envenenamiento por cianuro. Significando que la estricnina (+) ha sido rechazada hacia el interior del conejo y el cianuro (-) también ha sido introducido por el cátodo.

Después de esto, repite el experimento de manera que solamente cambia la polaridad de los electrodos; concluyendo que ninguno de ambos muere al haberse mantenido en la gamuza los compuestos activos de las disoluciones (estricnina y cianuro).

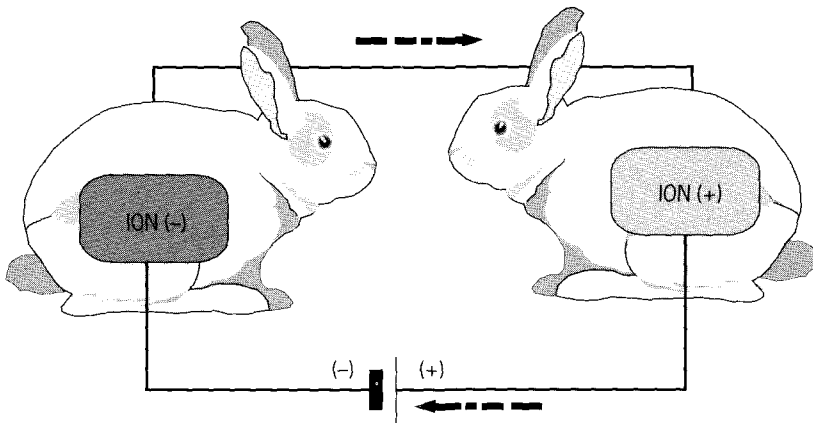


Figura VII.1.

### Experimento de Labatut

En una cubeta introdujo un pedazo de músculo procedente de un animal, de manera que la masa de carne quedara dividiendo la cubeta en dos partes distintas y que el ajuste de la carne con la cubeta impidiera la mezcla de los líquidos creando dos disoluciones diferenciadas, haciendo con la carne una barrera o membrana (Fig. VII. 2).

En ambos lados, de la cubeta, introdujo una disolución de cloruro de litio al 5% y colocó dos electrodos para aplicar galvanismo durante un tiempo. Transcurrido ese tiempo, procedió a cortar la carne en rebanadas paralelas a las disoluciones con la observación siguiente:

En las capas que se encontraban en contacto con la disolución en la que había colocado el polo positivo, tenían una proporción alta de litio que disminuía progresivamente según se acercaba al centro.

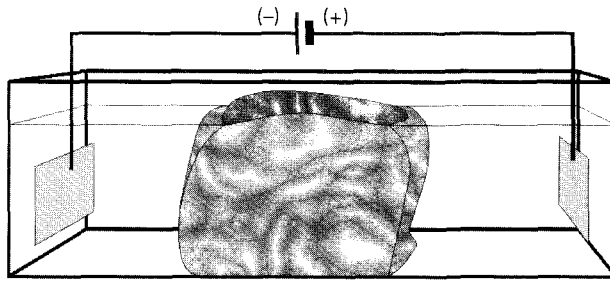


Figura VII.2.

Las capas o rebanadas del lado que estaba en contacto con la disolución del negativo no contenían nada de litio, ni tan siquiera podría pensarse que hubiera sido introducido por ósmosis.

En la literatura sobre el tema, se hace referencia a otros experimentos e incluso distintas versiones del mismo, pero todas son perfectamente demostrativas de la traslación de sustancias a través de la piel u otras membranas.

En este punto se plantea la duda y la explicación de cómo se introducen los iones a través de la capa córnea de la piel, bastante *impermeable* y, por otra parte, no se la puede comparar exactamente con una membrana celular.

La corriente galvánica puede pasar por vía de iones o de electrones de la materia que componen los tejidos de la piel, pero ¿por dónde pasan los iones?

Se da como buena la teoría, según la cual, penetran a través de los conductos sudoríparos y de los folículos pilosos, utilizando como vehículo las disoluciones que contienen en su interior hasta llegar al líquido intersticial (Fig. VII. 3).

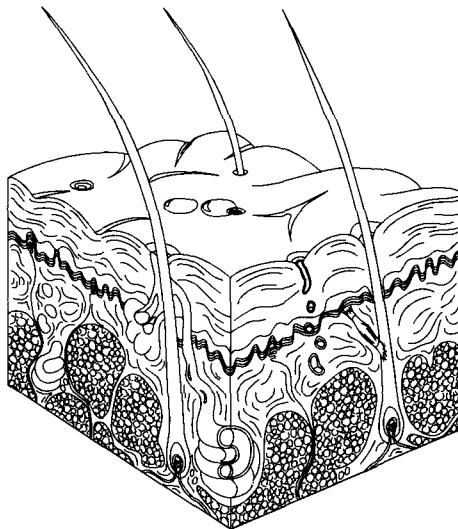


Figura VII.5.

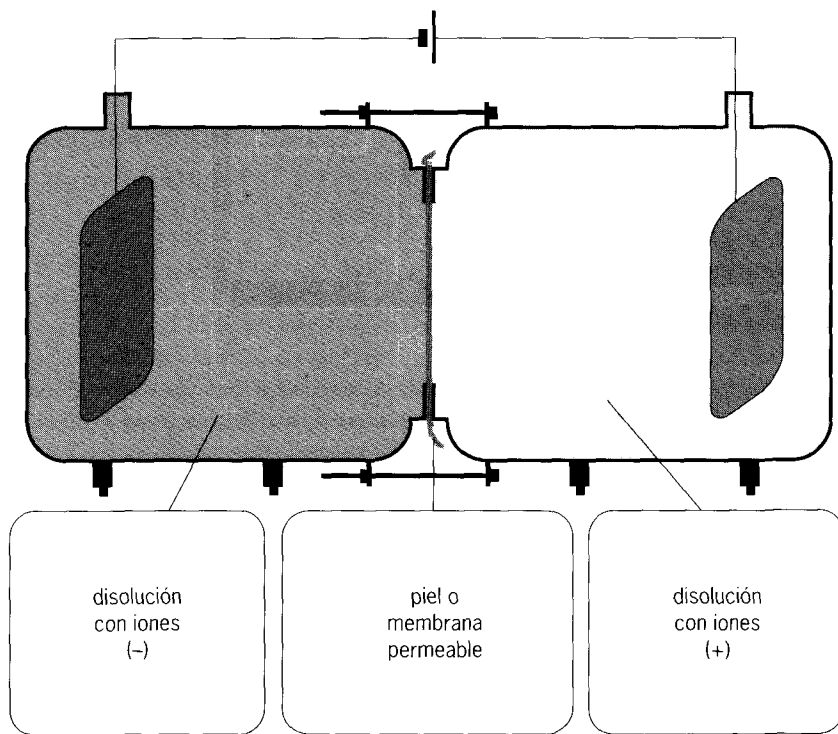


Figura VII.4.

Tratando de demostrar la permeabilidad de la piel, se diseña un sistema separando dos disoluciones mediante colgajo de piel humana o de otros animales (con frecuencia se emplea la de cerdo por su semejanza en el comportamiento con la humana) (Fig. VII. 4).

Con este sistema, Riviere diseñó metodologías de experimentación para tratar de averiguar las cantidades de iones que pueden pasar con corriente galvánica de un medio a otro, sin llegar todavía a conclusiones definitivas, pues es muy distinta la composición de una disolución preparada «*in vitro*» que «*in vivo*». Además de la multitud de factores que intervienen en las aplicaciones corporales, por ejemplo:

- distintas resistencias de los tejidos que influyen en los parámetros eléctricos;
- multitud de iones que responden de distinta forma a un mismo nivel de energía aplicada;
- la forésis de los iones se debe al voltaje o diferencia de potencial, poseyendo cada ion distintos valores de ruptura;
- la intensidad medida transporta diversidad de iones, no únicamente el medicamento, sin poder calcular la cantidad introducida.

En definitiva, dada la complejidad de las reacciones químicas, los múltiples enlaces iónicos y la cantidad de sustancias que existen en el organismo complican extraordinariamente esta técnica.

Universidad Católica del Maule  
Biblioteca Campus San Miguel

En principio, si el radical del medicamento es una *monomolécula*, penetrará y se irá asociando con otras moléculas de distinto signo (siempre que la intensidad de la corriente galvánica se lo permita). Pero, si el radical del medicamento es una *polimolécula*, la corriente disociará su estructura haciendo que penetren los radicales del mismo signo que el electrodo, quedándose en la gamuza los radicales de signo opuesto al electrodo.

En este segundo caso, hemos «roto el medicamento» y, dependiendo de las características propias del fármaco, lo habremos destruido o introducido en parte, pues los compuestos químicos tienen enlaces muy estables y firmes en unos puntos, mientras que en otros son débiles y fáciles de disociar de las fuerzas eléctricas aplicadas.

**Es necesario aclarar que el parámetro eléctrico que realmente rompe o pone en movimiento las moléculas, es el *voltaje* en lugar de la intensidad. Esto quiere decir que se puede dar la circunstancia en que estemos aplicando una cantidad importante de intensidad y poco voltaje, sin llegar a conseguir el efecto buscado.**

La intensidad nos indica que existe paso de iones, incluso nos permite calcular el número, pero, los distintos niveles en diferencia de potencial (*voltaje*) conseguirán actuar en unas sustancias o en otras.

Esta técnica todavía presenta muchas incógnitas por resolver, siendo necesario investigarla a fondo y escuchar todo aquello que nos puedan aportar los bioquímicos.

La aplicación transcutánea de medicamentos ofrece sus ventajas y desventajas:

#### VENTAJAS DE LA IONTOFORESIS

- *no presenta agresiones digestivas ni cruentas;*
- *su efecto es local;*
- *posible efecto general (según el compuesto y la cantidad introducida);*
- *aplicación indolora;*
- *se aprovechan otros efectos del galvanismo;*
- *permite tratamientos de larga duración.*

#### DESVENTAJAS DE LA IONTOFORESIS

- *no se puede o no se debe aplicar cualquier medicamento;*
- *no se sabe (o no es fácil de saber) la dosis exacta que se aplica;*
- *no son factibles dosis altas;*
- *se deben evitar medicamentos de potente efecto general.*

Será transcendental, en este tipo de técnica, la dosis a aplicar y los factores que influyen en ella, existiendo varios:

- 1) *cantidad del medicamento contenida en la disolución usada en cada aplicación;*
- 2) *concentración del fármaco;*
- 3) *estado del paciente y de su piel;*

- 4) *cantidad de medicamento introducido* (aplicando la Ley de Faraday);
- 5) *dimensiones del electrodo activo*;
- 6) *duración de la sesión*;
- 7) *frecuencia de las sesiones*;
- 8) *duración del tratamiento completo*.

### 1. Cantidad del medicamento usado en cada aplicación

Dependiendo de la concentración del fármaco, podemos utilizar mayor o menor cantidad del mencionado. Pero, si una determinada cantidad en  $\text{cm}^3$  la rociamos sobre un electrodo pequeño, se empapará mucho y cada  $\text{cm}^2$  recibirá gran número de iones. Si, por el contrario, la misma cantidad del fármaco la empapamos en la gamuza de un electrodo grande, cada  $\text{cm}^2$  recibirá una proporción insuficiente de medicamento.

Según esto, necesitamos buscar la forma para superar la variante del tamaño del electrodo, lo cual nos lleva a establecer un valor medio teniendo en cuenta el tamaño y grosor de la gamuza.

Digamos que:

**1  $\text{cm}^3$  de disolución por cada 5  $\text{cm}^2$  de gamuza**

aunque en este punto, la experiencia personal marcará la pauta fundamental.

La metodología ideal y más normal consistiría en disponer de una disolución preparada del medicamento que se va a utilizar y empapar en ella un paquete de gasas estériles que se colocarán bajo el electrodo adecuado.

### 2. Concentración del fármaco

Las concentraciones más habituales suelen estar comprendidas entre el 2% para las sustancias poco potentes, en tanto que para sustancias de mayor efecto, como puede ser la *biotamina* o la *acetilcolina*, se emplean al 1 por mil ( $1\text{‰}$ ), o incluso, al 1 por diez mil ( $1\text{‰‰}$ ).

Si la gamuza se ha empapado previamente en agua destilada, se reducirá la concentración, pero, si se vierte directamente sobre una gamuza seca o la gamuza seca se introduce dentro de la disolución destinada al tratamiento, se mantendrá el nivel de concentración.

Hace algún tiempo se fabricaban preparados para ser aplicados con *iontoforesis*, actualmente no es ésta la tónica, pero se pueden conseguir preparados en farmacia o compuestos a la venta que nos pueden servir, bien en su disolución o rebajándola.

La concentración viene dada por el fabricante o por las tablas que a este respecto han publicado varios autores. Lógicamente, una mayor concentración de iones tiene más efecto y más rápido que si se encuentran diluidos en menor proporción.

### 3. Estado del paciente y de su piel

Como fisioterapeutas, previamente debemos valorar las posibles reacciones del paciente ante una determinada dosis, según sus efectos a nivel **local, general y de la piel**. Esto nos

aportará datos para decidir otros puntos, tales como: la concentración del medicamento o la periodicidad del tratamiento, e incluso, si dicho tratamiento está contraindicado por reacciones alérgicas.

Merece la pena perder una o dos sesiones para estudiar la lesión y sus reacciones, practicando tratamientos sobre seguro en lugar de producir efectos contraproducentes, de consecuencias a veces muy desagradables, reafirmandonos en el concepto que siempre nos debe guiar a tratamientos sobre objetivos concretos hasta conseguirlos. Y si no apreciamos respuesta adecuada, mejor considerar la técnica como fracasada procediendo a su retirada.

#### 4. Cantidad de medicamento introducido

Es interesante conocer que en los laboratorios de análisis clínicos, a la hora de practicar procesos analíticos basados en la electrólisis o electroforesis, se guían por el voltaje aplicado más que por la intensidad hasta obtener los resultados buscados.

Ello implica una aplicación en tensión constante, y las aplicaciones en tensión constante sobre el organismo no nos permitirán alcanzar ni voltajes altos ni intensidades altas, pues existen severos riesgos de quemadura. Sin poder aplicar ninguno de los parámetros eléctricos en cantidades suficientes, la potencia aplicada será insuficiente a todas luces.

Pero, la realidad cotidiana y la práctica diaria nos ofrece únicamente la medida de intensidad en mA y equipos que se aplican en intensidad constante, significando que se adapta automáticamente el voltaje a las necesidades del circuito, según la intensidad aplicada y la resistencia del mismo. Es muy probable que circunstancias como:

- a) aplicación práctica;
- b) falta de control en los parámetros eléctricos;
- c) desconocimiento de la *fuerza electromotriz* necesaria para romper y mover la molécula en cuestión y
- d) las dudas que rodean al nivel de paso molecular por la piel, conviertan la iontoforesis en una técnica que en gran número de tratamientos realizados resulten fallidos sin saberlo.

*La intensidad en miliamperios (mA) debe estar normalizada por lo anteriormente expuesto sobre la galvanización, donde se hacía referencia a una intensidad media de 0,15 mA/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, en el caso de iontoforesis, es preferible quedarse por debajo de la media, ya que se trata de introducir un medicamento y no de conseguir determinados efectos galvánicos. La cifra referida de 0,15 mA/cm<sup>2</sup> en el galvanismo, es la dosis, pero no así en este caso porque la dosis buscada sería la cantidad de medicamento introducido por cantidad de volumen corporal o por cm<sup>2</sup> del electrodo (véase epígrafe del capítulo V «Aplicación de un caso real buscando precisión en la dosis»).*

Dado que en esta técnica el factor principal a considerar es la cantidad de medicamento introducido (expresado en gramos), pero, con la limitación de 0,15 mA/cm<sup>2</sup>, nos veremos limitados por un valor en intensidad durante determinado tiempo hasta alcanzar los gramos pretendidos.

Para introducir una sustancia química acudiremos a la Ley de Faraday en la electrólisis, según la cual, se afirma que la cantidad de iones introducidos depende de **la intensidad por el tiempo aplicado por el equivalente electroquímico** de forma directamente proporcional.

$$M_g = E \cdot I \cdot t$$

«La masa en gramos de una sustancia depositada en una electrólisis es directamente proporcional al producto de la intensidad de la corriente, por el tiempo de la electrólisis y por el equivalente electroquímico de la sustancia.»

La intensidad podemos leerla en el estimulador, el tiempo lo controlamos con un cronómetro en segundos, pero el equivalente electroquímico nos vendrá dado por tablas electroquímicas o por cálculos si conocemos otros parámetros de la sustancia utilizada.

Para hallar el *equivalente electroquímico* necesitamos conocer el peso atómico (masa molar), la valencia del ion y la constante de Faraday,

$$E_e = \frac{P_m}{v \cdot F}$$

siendo  $P_m$  la masa molar o peso molecular o gramos por mol de la sustancia,  $v$  la valencia del ion y  $F$  la constante de Faraday (96.500 culombios). La siguiente tabla VII. 1 representa el peso molecular, la valencia y el equivalente electroquímico de los iones más importantes en las reacciones orgánicas.

TABLA VII. 1

Elemento		P mol	v	Equ. Elect
Aluminio	Al	27,00	2	0,0001399
Arsénico	As	74,90	3	0,0002587
Arsénico	As	74,90	5	0,0001552
Azufre	S	32,10	2	0,0001663
Azufre	S	32,10	4	0,0000832
Azufre	S	32,10	6	0,0000554
Bario	Ba	137,30	2	0,0007114
Bismuto	Bi	209,00	3	0,0007219
Bismuto	Bi	209,00	5	0,0004332
Boro	B	10,80	3	0,0000373
Bromo	Br	79,90	1	0,0008280
Bromo	Br	79,90	5	0,0001656
Cadmio	Cd	112,40	2	0,0005824
Calcio	Ca	40,10	2	0,0002078
Carbono	C	12,01	2	0,0000622
Carbono	C	12,01	4	0,0000311
Cinc	Zn	65,40	2	0,0003389
Cloro	Cl	35,50	1	0,0003679



TABLA VII. 1  
(Continuación)

Elemento		P mol	v	Equ. Elect
Cobre	Cu	63,50	1	0,0006580
Cobre	Cu	63,50	2	0,0003290
Flúor	F	19,00	1	0,0001969
Fósforo	P	31,00	3	0,0001071
Fósforo	P	31,00	5	0,0000642
Hidrógeno	H	1,01	1	0,0000104
Hierro	Fe	55,80	2	0,0002891
Hierro	Fe	55,80	3	0,0001927
Yodo	I	126,90	1	0,0013150
Yodo	I	126,90	5	0,0002630
Yodo	I	126,90	7	0,0001879
Litio	Li	6,94	1	0,0000719
Magnesio	Mg	24,30	2	0,0001259
Manganeso	Mn	45,90	2	0,0002378
Manganeso	Mn	45,90	3	0,0001585
Manganeso	Mn	45,90	4	0,0001189
Manganeso	Mn	45,90	7	0,0000679
Mercurio	Hg	200,60	1	0,0020788
Mercurio	Hg	200,60	2	0,0010394
Molibdeno	Mo	95,90	6	0,0001656
Níquel	Ni	58,70	2	0,0003041
Níquel	Ni	58,70	3	0,0002028
Nitrógeno	N	14,01	1	0,0001452
Nitrógeno	N	14,01	2	0,0000726
Nitrógeno	N	14,01	3	0,0000484
Nitrógeno	N	14,01	4	0,0000363
Nitrógeno	N	14,01	5	0,0000290
Oro	Au	197,00	1	0,0020415
Oro	Au	197,00	3	0,0006805
Oxígeno	O	16,00	2	0,0000829
Plata	Ag	107,90	1	0,0011181
Platino	Pt	195,10	2	0,0010109
Platino	Pt	195,10	4	0,0005054
Plomo	Pb	207,20	2	0,0010736
Plomo	Pb	207,20	4	0,0005368
Potasio	K	39,10	1	0,0004052
Silicio	Si	28,10	2	0,0001456
Silicio	Si	28,10	4	0,0000728
Sodio	Na	23,00	1	0,0002383

Luego, podemos repetir la fórmula inicial con las siguientes variantes:

$$M_g = \frac{P_m}{v \cdot F} I \cdot t$$

**Supongamos un ejemplo en el que disponemos una preparación para aplicar en condiciones óptimas, en el que no influirían factores extraños ni otras sustancias químicas distintas de la elegida.**

Con estas premisas, queremos introducir dentro del organismo el ion sodio de una disolución de cloruro sódico ( $Cl^- + Na^+$ ): ¿cuántos gramos introduciremos en 5 minutos con intensidad de 4 mA?

Masa molar = 22,99

Valencia = +1

Const. de F. = 96.500

Eq. Electq. = 0,0002383

Intensidad = 0,004 Amp

Tiempo (5 · 60) = 300 sg

$$M_g = \left( \frac{22,99}{1 \cdot 96.500} \right) \cdot 0,004 \cdot 300 = 0,00027 \text{ g (270 } \mu\text{g)}$$

La fracción contenida entre paréntesis es igual al *equivalente electroquímico*, teniendo en este caso el valor antes indicado de 0,0002383.

La diferencia de potencial ¿fue excesiva, suficiente, no adecuada para movilizar a los iones pretendidos? Suponiendo que la única disolución era de cloruro sódico y se representó la lectura en el miliamperímetro, lógicamente el voltaje fue suficiente.

Veamos un segundo ejemplo:

Pretendemos introducir calcio ( $Ca^{++}$ ) en el organismo, procedente de una solución de cloruro cálcico, bajo el ánodo durante 20 minutos con intensidad de 7 mA. ¿Cuántos gramos de  $Ca^{++}$  penetrarán? (no consideramos el tamaño del electrodo activo).

Masa molar  $P_m$  = 40,1

Valencia = +2

Const. de F. = 96.500

Eq. Electq. = 0,0002078

Intensidad = 0,007 Amp

Tiempo (20 · 60) = 1.200 sg

$$M_g = \left( \frac{40,1}{2 \cdot 96.500} \right) \cdot 0,007 \cdot 1.200 = 0,00170 \text{ g (1,7 mg)}$$

Normalmente, todos los factores o variables de la ecuación son inamovibles, salvo el tiempo de la sesión. Es por esto por lo que la fórmula definitiva, siempre que incorporemos  $M_g$  como valor prefijado y aislemos el tiempo, quedaría:

$$M_g = E \cdot I \cdot t \implies t = \frac{M_g}{E \cdot I}$$

Dado que en la práctica el equivalente electroquímico no es fácil conseguirlo como información aportada por los laboratorios farmacológicos, pero sí es más viable disponer del peso molecular y valencia del ion o de la molécula con la que deseamos trabajar, la fórmula se hará más compleja, aunque es la misma:

$$M_g = \frac{P_m}{v \cdot F} I \cdot t \implies$$

$$M_g = \frac{P_m \cdot I \cdot t}{v \cdot F} \implies$$

$$M_g \cdot v \cdot F = P_m \cdot I \cdot t \implies$$

$$t = \frac{M_g \cdot v \cdot F}{P_m \cdot I}$$

Veamos un tercer ejemplo:

Para introducir 10 mg de  $Ca^{++}$  con una iontoforesis donde aplicamos 6 mA, ¿cuánto tiempo durará la sesión?

Masa molar  $P_m = 40,1$

Valencia = +2

Const. de F. = 96.500

Eq. Electq. = 0,0002078

Intensidad = 0,006 Amp

$Ca^{++}$   $M_g = 0,010$  g

Tiempo = X sg

Partimos de la fórmula siguiente:

$$t = \frac{M_g \cdot v \cdot F}{P_m \cdot I} = \frac{0,01 \cdot 2 \cdot 96.500}{40,1 \cdot 0,006} = 8.021,6 \text{ sg (133 minutos)}$$

133 minutos serán los necesarios para depositar los 10 mg de calcio pretendidos.

Más sencillo resultará aplicar la fórmula abreviada, pero, previamente, hallaremos el *equivalente electroquímico*.

$$E_e = \frac{P_m}{v \cdot F} = \frac{40,1}{2 \cdot 96.500} = 0,0002078$$

$$t = \frac{Mg}{E \cdot I} = \frac{0,01}{0,0002078 \cdot 0,006} = 8024,3 \text{ sg}$$

Prácticamente los mismos valores que el procedimiento anterior.

*Si en verdad, pretendemos acercarnos a comportamientos científicos, apliquemos previamente la técnica, basándonos en la Ley de Faraday, y después elucubremos con estudios y respuestas estadísticas.*

Ya ha ocurrido que se han publicado trabajos sobre un determinado medicamento aplicado en iontoforesis, de manera que, debido a las características del galvanizador empleado, al no tener en cuenta determinados parámetros, no realizar las medidas oportunas, etc., fue considerado como un estudio serio. En última instancia, resultó que el famoso medicamento en cuestión, presenta una resistencia tan alta al paso de la galvánica que podemos afirmar su falta de conductividad y, en consecuencia, la ineficacia del tratamiento.

Por otra parte, el estimulador señalaba un falso paso de corriente (debido a su fabricación). Al comprobar la medición de parámetros en la salida, la intensidad era cero. Esto nos conduce, de nuevo, a la necesidad de usar un galvanizador que informe con la suficiente precisión de:

- lo acontecido en el circuito durante la sesión;
- de la intensidad como parámetro a regular;
- (dosis galvánica en mA/cm<sup>2</sup>);
- del voltaje y
- mediante cálculo matemático, la resistencia del circuito (Fig. VII. 5).

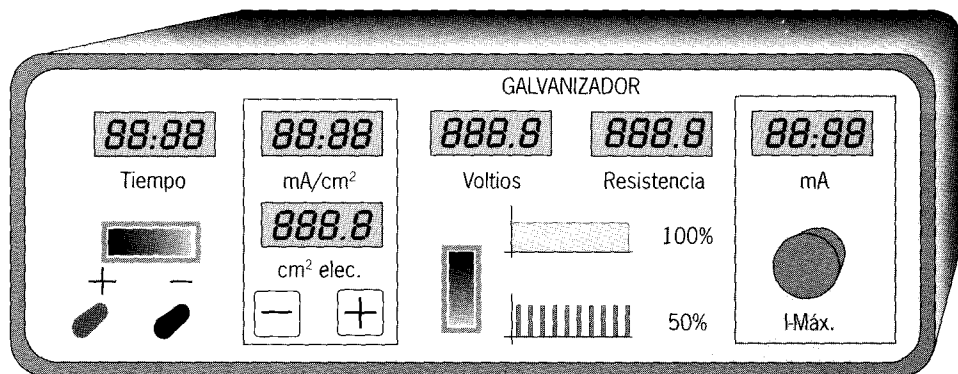


Figura VII. 5.

Esta información nos conducirá, como poco, a intentar que las condiciones de los electrodos sean, en todas las ocasiones, lo más parecidas posibles, y si en una aplicación observamos que el voltaje es distinto a otras con la misma intensidad, será debido a cambios importantes en el circuito aplicador o en el paciente. Necesitamos la doble información de intensidad y diferencia de potencial (voltaje) para no volver a caer en tan abundantes y crasos errores.

La resistencia del circuito es también fundamental, pues, además de influir directamente en el voltaje aplicado a todo el electrodo, es distinto al aplicado por unidad de superficie, dependiendo de que los electrodos sean grandes o pequeños.

Pongamos que en una aplicación de iontoforesis o de galvanismo sin medicamento, con electrodo pequeño de  $25 \text{ cm}^2$ , leemos los siguientes parámetros:

- intensidad = 5 mA
- voltaje = 19 V

- 1) ¿Qué resistencia opone el circuito?
- 2) ¿Cuánta potencia aplicamos?
- 3) ¿Cuántos Julios aplicaremos después de 12 minutos de sesión?
- 4) ¿Qué resistencia por cada  $\text{cm}^2$ ?
- 5) ¿Cuántos Julios por cada  $\text{cm}^2$ ? (Fig. VII. 6).
  - 1) Como  $R = V/I$ ;  $R = 19/0,005 = 3.800 \text{ Ohm}$ ;
  - 2)  $W = V \cdot I$ ;  $W = 19 \cdot 0,005 = 0,095 \text{ Vatios (95 milivatios)}$ ;
  - 3)  $J = W \cdot t$  en segundos;  $J = 0,095 \cdot (12 \cdot 60) = 68,4 \text{ Julios}$ ;
  - 4)  $3800/25 = 152 \text{ Ohm/cm}^2$ ;
  - 5)  $68,4/25 = 2,7 \text{ J/cm}^2$ ;

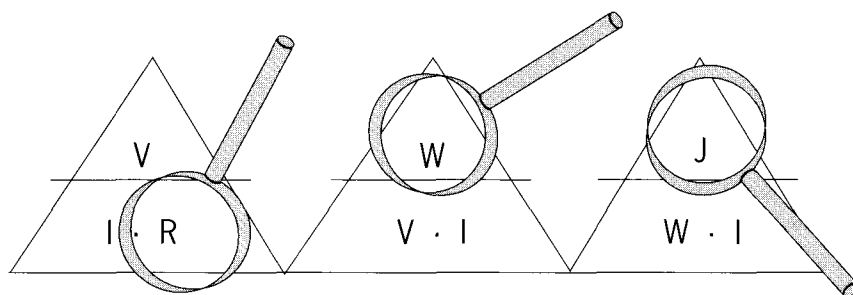


Figura VII.6.

Cualquier cambio en la resistencia provocará cambios en los demás resultados, variaciones que pueden ser importantes.

En el mercado nos encontramos con una gama de galvanizadores para iontoforesis que se dosifican en mA por minuto. Utilizan la misma metodología que la expuesta en estas pági-

nas, salvo que en lugar de trabajar con los miliamperios expresados por sg, se refieren a miliamperios aplicados durante x minutos, de igual forma que podríamos hablar de mA/hora o Amp./hora. Asimismo, el peso molecular lo referiríamos a kg por mol en lugar de gramos por mol. En esta obra se han empleado las unidades del Sistema Internacional de Medidas.

## 5. Dimensiones del electrodo activo

La superficie del electrodo que soporta la disolución medicamentosa influye directamente en la dosis por:

- a) la cantidad del medicamento que puede sustentar;
- b) su concentración;
- c) intensidad, resistencia y voltaje de la corriente y
- d) el propósito que se pretende conseguir.

**Sobre la cantidad del fármaco:** por ser directamente proporcional la cantidad empleada con el tamaño del electrodo.

**Sobre la intensidad, resistencia y voltaje de la corriente:** desde el momento en que se tenga en cuenta su superficie para calcular la intensidad en unidades por  $\text{cm}^2$  y la influencia directa en la diferencia de potencial de acuerdo con la resistencia del circuito, de forma que, a mayor electrodo, menor resistencia por unidad de superficie; a menor electrodo, mayor resistencia por  $\text{cm}^2$ .

**Sobre la concentración:** por el hecho de que, cuanto mayor superficie de electrodo, menor proporción por  $\text{cm}^2$  de piel ante la misma concentración de la disolución preparada.

**En cuanto al propósito deseado:** habrá que adaptar el tamaño a la zona, patología y objetivos buscados, no cayendo en aplicaciones con electrodos sin el debido control ni la técnica precisa. Aunque, por motivos de depuración en la metodología de la técnica, será bueno utilizar siempre el mismo tamaño y tipo de electrodo.

Asimismo, en ocasiones, desearíamos practicar una aplicación en dos puntos al mismo tiempo con dos electrodos respectivos, o más, de la misma polaridad. La solución se halla haciendo derivaciones en el cable del mismo polo, teniendo presente que el otro electrodo utilizado como masa o común debe ser más grande que la suma de las superficies de los activos, y la suma de la superficie de los activos será el valor tomado como superficie de aplicación (Fig. VII. 7).

Esta modalidad no es conveniente, debido a que la resistencia no resultará la misma en distintos lugares de aplicación, alterando los parámetros eléctricos.

## 6. Duración de la sesión

El tiempo que puede durar una sesión de tratamiento depende principalmente de la *cantidad de medicamento que deseemos introducir*, aunque consideraremos la agresividad del

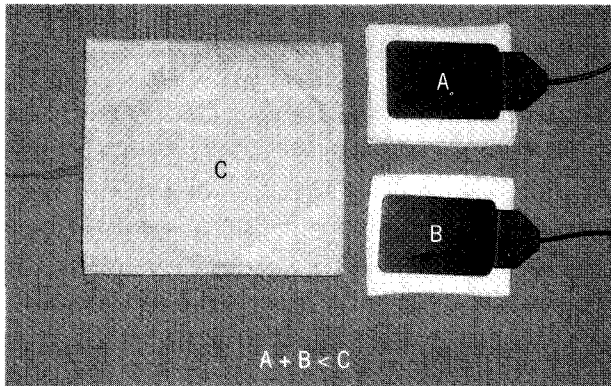


Figura VII.7.

fármaco, la proporción en la disolución, la intensidad eléctrica elegida y las precauciones que se deben tomar en las primeras aplicaciones del tratamiento.

Pues, antes de decidirse por un tiempo determinado, es conveniente que se valoren posibles reacciones del paciente aplicando tiempos cortos de 5 a 10 minutos, y si no apreciamos nada en contra, intentaríamos acercarnos a tiempos obtenidos por la fórmula de Faraday. En la práctica cotidiana suelen aplicarse tiempos que rondan de los 15 a los 20 minutos, pero ello implica «poner algo porque debe ser mejor que nada».

No olvidemos que la iontoforesis se realiza con corriente continua (también podemos utilizar otras corrientes interrumpidas galvánicas), igual que la técnica de galvanismo y sus efectos, por lo que se hace imprescindible considerar los efectos polares e interpolares para que no lleguen a ser contrarios a los buscados por la iontoforesis, sobre todo el de analectrotono y cataelectrotono. Podemos estar anulando los resultados de una iontoforesis con la inadecuada aplicación del galvanismo que lleva implícito.

## 7. Frecuencia de las sesiones

Van a ser la potencia de los medicamentos y la cantidad introducida, junto con la tolerancia del paciente, los factores que marquen el intervalo entre sesión y sesión, pudiendo ir desde dos a tres por semana, una cada dos días o una aplicación diaria.

En los casos agudos debe aumentarse la frecuencia, mientras que en los crónicos tendremos a distanciar las sesiones, por ser habitual en estos procesos tratamientos prolongados.

## 8. Duración del tratamiento completo

Una vez conseguidos los resultados propuestos, se debe suspender el tratamiento. También en caso de intolerancia o quemaduras.

Las patologías agudas normalmente requieren tratamientos cortos, mientras que los crónicos tienden a ser más prolongados.

Sobre la capacidad o no de penetración de los iones, dentro de los tejidos orgánicos, hay que comentar que se han practicado pruebas con isótopos de yodo  $^{131}$  aplicado por iontoforesis, observando por fotogammagrafía que habían penetrado unos centímetros en pocos minutos. El propio experimento de Leduc demuestra que la estricnina y el cianuro entran pronto en las vías sanguíneas produciendo efectos generales (en este caso la muerte).

Luego, y según esto, una de las precauciones fundamentales son los posibles efectos secundarios a nivel general del medicamento elegido.

## Empleo de otras corrientes distintas a la galvánica para iontoforesis

Clásicamente se emplea la galvánica, pero —dadas las posibilidades para generar multitud de frecuencias y formas de corrientes con la microelectrónica—, podemos utilizar cualquiera de las que formen parte del gran grupo de las interrumpidas galvánicas, aunque, lógicamente, tenderemos a elegir las que mayor componente galvánico mantengan.

Serán corrientes de impulsos cuadrangulares, con polaridad, combinando tiempos de impulsos con los reposos, lo cual disminuye la intensidad media en mA; pero, por otra parte, aparecen efectos sensitivos muy útiles para evitar riesgos de quemaduras y tener información más objetiva aportada por el paciente.

La intensidad aplicada en este caso no coincide con la señalada en el miliamperímetro del equipo, dado que introducimos momentos de descanso en la aplicación (Fig. VII. 8). La nueva intensidad será calculada con la fórmula:

$$I_{(\text{media})} = I_{(\text{pico})} \cdot T_{(\text{imp en sg})} \cdot F_{(\text{en Hz})}$$

Esta fórmula es muy útil para calcular los miliamperios que trabajan como componente galvánico después de leer la intensidad de pico. Pero, en otras ocasiones, partimos de corrientes que nos informan del porcentaje en componente galvánico de una corriente, teniendo que traducir el porcentaje en valores reales para medir con el estimulador (véase en el capítulo V, el epígrafe «Quemaduras con interrumpidas galvánicas»).

Como la intensidad en cada pulso es alta, el voltaje aplicado con cada pulso también aumenta, fenómeno muy interesante para contribuir a la ruptura y desplazamiento de iones o moléculas ionizadas «a base de empujones con los pulsos».

En caso de no desear efectos sensitivos, podemos aumentar la frecuencia invadiendo la banda de medias frecuencias, como puede ser: impulsos de 0,1 ms y reposos de 0,1 ms correspondiente a la frecuencia de 5.000 Hz.

Es frecuente oír y leer que «las interferenciales se utilizan para iontoforesis», siempre que sean modificadas de forma adecuada pueden utilizarse perfectamente para este fin. La media

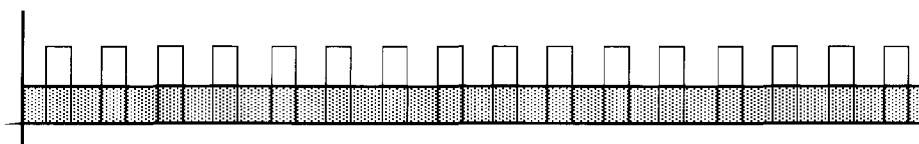


Figura VII.8.



frecuencia e interferenciales se basan en una portadora de corriente alterna de media frecuencia, la cual, sometida a un filtraje por diodos, se convertirá en corriente con ondas semejantes a las difásicas fijas (DF) de las diadinámicas, pero de mayor frecuencia (4.000 Hz) (Fig. VII. 9).

Puede filtrarse tanto la portadora antes de modularla en baja frecuencia, como ya modulada. Sin embargo, es más fácil de medir y controlar cuando se rectifica directamente la portadora de 4.000 Hz.

Una precaución que no debe olvidarse, cuando se utilizan las medias frecuencias o interferenciales rectificadas para iontoforesis, consiste en el riesgo añadido de que son corrientes

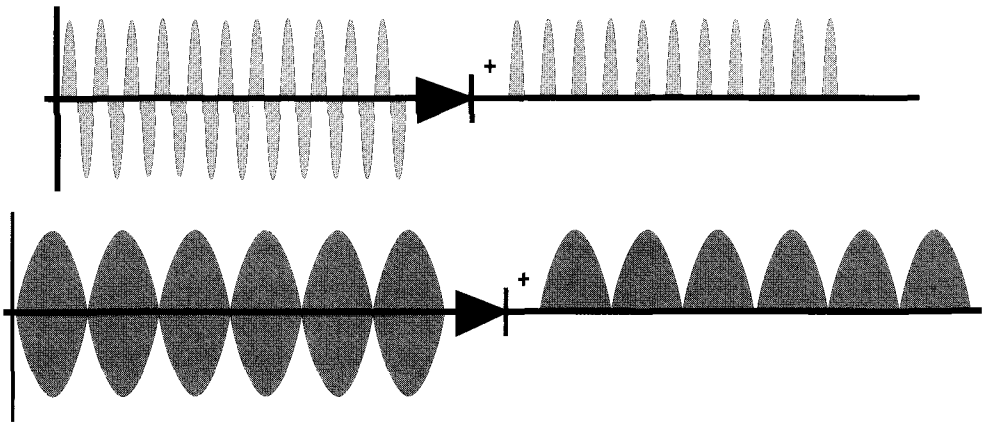


Figura VII.9.

tes que habitualmente se aplican en tensión constante, circunstancia que puede causar quemadura galvánica, pues al bajar la resistencia de los tejidos, aumenta la intensidad y, en consecuencia, la potencia. Usando esta modalidad, es conveniente posicionar el equipo en intensidad constante (véase en el capítulo I, los epígrafes «Tensión constante» e «Intensidad constante»).

## Iontoforesis con Histamina

La *histamina* y también la *acetilcolina* tienen un efecto de vasodilatación en los capilares (sobre todo, en su parte arterial), hasta el punto de llegar a establecer nuevos caminos circulatorios con facilidad. Pero poseen el inconveniente de ser muy activas y una dosis en exceso llegaría a producir un colapso circulatorio en el momento que comenzara a actuar a nivel general, causando una vasodilatación periférica generalizada con su consiguiente bajada de presión sanguínea.

Luego la clave de una buena técnica para este tratamiento consiste en mantener el efecto local sin sobrepasar el umbral de los efectos generales.

La *histamina*, junto con sus derivados o equivalentes, nos proporciona una herramienta muy potente, pero muy difícil de manejar. Y dado el riesgo, el fisioterapeuta poco entrenado en esta técnica, mejor que se abstenga de aplicarla o hacerlo con máxima prudencia.

## Iontoforesis con ácido acético

Se está extendiendo la aplicación de ácido acético para tratar los procesos de calcificaciones, con el objetivo de conseguir la disociación del precipitado cálcico. Dado que nos hallamos ante esta tendencia o moda, veamos cómo debiéramos plantearnos una aplicación de iontoforesis con dicho compuesto.

Primero debemos averiguar la polaridad del medicamento. La fórmula del ácido acético es  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , que se disocia en  $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$ . El radical acetato posee  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  con carga negativa (-) y se introducirá en el interior del organismo situándolo bajo el cátodo (-).

Seguidamente nos plantearémos cómo puede actuar el compuesto de acuerdo con su ecuación química. Suponiendo que el radical negativo alcance la zona de la calcificación, la reacción sería como sigue:



El cloruro cálcico reacciona con el acetato para formar acetato cálcico más  $\text{CO}_2$  más agua, reiterando que damos por supuesto que dicho radical alcance la zona, bien porque traspase la piel o porque reaccione y forme otros compuestos en el medio biológico antes de entrar en contacto con el cloruro cálcico del proceso que nos interesa.

Continuaremos con la aplicación de la técnica. Conseguiremos un preparado en disolución de ácido acético al 2% para empapar con él abundantemente unas gasas estériles para situarlas sobre la zona afectada. Estas gasas no se mojarán ni empaparán previamente con ningún otro líquido o sustancia. Sobre las gasas se sitúa el electrodo (-) (sin involucrarlo con otra gamuza (véase fotografía en el encabezamiento del capítulo)).

El electrodo (+) opuesto se fijará próximo y enfrentado, pero de mayor tamaño, envuelto en una gamuza empapada en agua potable del grifo o, mejor, en suero fisiológico.

Se aplicará corriente galvánica, u otra con componente galvánico, de acuerdo con la superficie de las gasas empapadas en la disolución.

El primer día ajustaremos unos 5 minutos, si todo va correcto, el siguiente 10 minutos y el tercero 15. Si el paciente tolera bien la sesión, pueden aplicarse los 20 minutos después de haberlo tanteado en las primeras sesiones.

Esta es la técnica empírica, pero debemos hacerlo así en las primeras sesiones observando las reacciones del paciente. Una vez seguros de que todo va correctamente, aplicaremos la ley de Faraday, explicada en el epígrafe 4 «Cantidad de medicamento introducido».

Para poder aplicar dicha fórmula, se requiere saber el peso molecular y la valencia del ácido acético:

Peso molecular = 60,05

Valencia = 1

Suponiendo que pretendemos introducir 3 mg, con una intensidad de 6 mA, ¿cuánto tiempo durará la sesión?:

$$t = \frac{\text{mg} \cdot v \cdot 96.500}{\text{pm} \cdot \text{nA}}$$

$$t = \frac{3 \cdot 1 \cdot 96.500}{60,05 \cdot 6} = 803 \text{ segundos}$$

$$803/60 = 13,3 \text{ minutos}$$

¿Llegará el día en que practicaremos esta técnica así o de manera semejante...?

## Polaridad de los medicamentos

Todos queremos saber, en un determinado momento, bajo cuál de los dos electrodos deberíamos aplicar la disolución que contiene el medicamento o pomada elegidos, pero nos falta la información que nos indique la polaridad. *Reiteremos aquí, de nuevo, que la polaridad del medicamento o radical que pretendemos introducir, se situará bajo el electrodo del mismo signo eléctrico.*

Existen listas de medicamentos recogidas por varios autores y en este trabajo he tratado de recopilar una lo más amplia posible. Mi sorpresa ha sido encontrarme con bastantes contradicciones sobre la polaridad, ya que el mismo compuesto es representado con distintas polaridades en diversas obras.

Tal vez no sean errores, sino observaciones o interpretaciones distintas según la combinación entre moléculas que forman un determinado compuesto quimioterápico. Quizás dependa de qué radical se considera activo para la función que se espera de él. O, tal vez, un autor considere al referido medicamento trabajando en un medio alcalino, mientras que otro lo considere en un medio ácido.

No quiero contribuir a la confusión corriendo el riesgo de cometer más errores.

En medicamentos en los que se den varios componentes simultáneamente, puede que se invierta su signo o, incluso, haya que aplicarlo en dos intentos, uno con el ánodo y el otro con el cátodo.

## Cambio de polaridad en iontoforesis

Debemos eliminar el cambio de polaridad a mitad de la sesión y esperar resultados. La técnica adecuada se basaría en:

- 1) empapar la gamuza en el medicamento;
- 2) aplicar con la primera polaridad durante el tiempo deseado (mitad de la sesión);
- 3) se vuelve a empapar otra gamuza nueva con el mismo compuesto y, por último;
- 4) se le aplica el polo opuesto al anterior y en el mismo lugar, con el fin de que penetren los iones que antes no lo hicieron.

La razón para empapar de nuevo la gamuza es mejor que los iones que no son rechazados durante la primera parte se acercan al electrodo para reaccionar con él (sobre todo si éste es metálico), perdiendo su composición original de ion y convirtiéndose en elemento neutro electrolizado. Estos iones normalmente quedarán inutilizados en la primera parte y en la segunda perderían su poder terapéutico.

En caso de aplicar la segunda parte con distinta polaridad, no es adecuado colocar los electrodos en el mismo lugar, pues los iones que acabamos de introducir, tenderíamos de nuevo a extraerlos. Seguramente, será mejor postergar la segunda parte para el día siguiente o después que hayan transcurrido unas horas.

## Indicaciones de la iontoforesis

En fisioterapia, la técnica de iontoforesis se destinará fundamentalmente a las indicaciones más importantes que se enumeran:

- *analgesia* en zonas localizadas;
- *antiinflamatorio* local;
- *vasodilatador*;
- *vasoconstrictor*;
- *desestructurante de tejidos* (fundamentalmente de colágeno);
- *relajante muscular*;
- *neurotrófico local*;
- *cicatricial*;
- *antiséptico*;
- *trombolítico*.

## Precauciones y contraindicaciones

*La precaución fundamental que se viene reiterando es la de evitar por todos los medios la quemadura galvánica causada por exceso de intensidad en cada centímetro cuadrado.*

- Estar seguros del modo de trabajo del estimulador, en CC o en VC.
- No guiarse por la sensación y apreciación subjetiva del paciente.
- Estar seguro de la polaridad de los electrodos.
- Que el sistema de medida de intensidad en mA sea real, bien calibrado y efectivo.
- Evitar que se contrapongan el efecto galvánico al del medicamento.
- Si utilizamos corrientes distintas de la galvánica, calcular previamente su componente galvánico para evitar posibles quemaduras,
- No aplicar los electrodos sobre piel alterada, con heridas o ulcerada (salvo indicación precisa).
- Evitar que el campo eléctrico invada la zona cardíaca o importantes centros nerviosos.
- No aplicar sobre procesos tumorales o cerca de ellos.
- Alejarse de las glándulas secretoras de hormonas.

- No aplicar sobre osteosíntesis metálicas, endoprótesis metálicas o sus proximidades.
- No aplicar sobre tromboflebitis o varices floridas (salvo indicación concreta).
- No aplicar sobre procesos infecciosos locales.
- No aplicar cuando se sospechan reacciones de rechazo a osteosíntesis cercanas.
- Es necesario conocer la resistencia y la diferencia de potencial entre electrodos y paciente.
- Debemos averiguar la conductividad o resistencia del preparado medicamentoso.
- Y otras que serán comunes a la galvanización sin iontoforesis de medicamentos (Tabla VII. 2).

**TABLA VII. 2**  
**VADEMÉCUM IONTOFORÉTICO**

Fármaco	Polaridad	Efectos	Observaciones
Ácido acético	-	Dispersante de calcificaciones	$\text{CO}_3\text{Ca} + \text{CH}_3\text{COO} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOCa} + \text{CO}_2 \text{ (gas)} + 1/2\text{H}_2\text{O}$
Adrenalina	+	Vasoconstrictor	es una amina con su carga (+)
Alfa-quimiotripsina	+	Antiedematoso y antiinflamatorio	es un glicosaminoglicano con su carga (+)
Arterocolina	+	Vasodilatador	cloruro de colina, el radical colina tiene carga (+)
Betnesol	-	Modificador tegumentario	
Biclorhidrato de histamina	+	Vasodilatador	
Bromuro de potasio	-	Sedante	
Bromuro de sodio	-	Sedante	el radical $\text{Br}^-$ es el que produce la sedación
Butazolidina	-	Analgésico y antiinflamatorio	(fenilbutazona)
Calcibromin	+	Miorrelajante	
Calcibronat	+	Miorrelajante	la elevación del nivel del ion $\text{Ca}^{++}$ conduce a un aumento del umbral de excitación nerviosa y celular en general, luego el efecto miorrelajante se le atribuye al $\text{Ca}^{++}$

TABLEA VII. 2  
(Continuación)

Fármaco	Polaridad	Efectos	Observaciones
Celestone	-	Analgésico, antiinflamatorio y modificador tegumentario	
Citrato potásico	-	Antiinflamatorio laxante salino y vasodilatador	por ser una sal potásica es (-)
Cloruro de adrenalina	+	Vasoconstrictor	ver adrenalina
Cloruro de calcio	+	Miorrelajante, anticontracturante, facilitación cicatricial y fragilidad capilar	usado en hipocalcemias por la acción del ion $Ca^{++}$
Cloruro de sodio	-	Modificador tegumentario	en este caso es el ion $Cl^-$ el que actúa como modificador de tegumentos
Cloruro de zinc	+	Cicatrizador y fijador de trombos	la acción se debe al $Zn^{++}$ como precipitador de proteínas
Coactín	-	Analgésico	penicilina derivada del ácido aminopenicilánico
Complamina	-	Hemocinético, Vasodilatador, trombolítico y revascularizante	
Corbaína	+	Anestésico local	
Cocaína	+	Anestésico local	por ser una base que contiene nitrógeno es (+)
Chimoser	+	Analgésico, modificador tegumentario, trombolítico y antiedematoso	
Dihydergot	+	Vasodilatador	Dihidroergotamina derivado amónico
Durcaíne	+	Anestésico superficial	como a todos los anestésicos locales, la positividad se la da el grupo $NH^+$

TABLA VII. 2  
(Continuación)

Fármaco	Polaridad	Efectos	Observaciones
Extracto de tiroides	+ o -	Resolutivo	las hormonas tiroideas como aminoácidos que son, se pueden comportar tanto (+) como (-), dependiendo del medio
Flaxedil	-	Miorrelajante	trietoyoduro de gallamina; el efecto miorrelajante se debe al trietoyoduro y por ser un derivado del yodo (I-) es (-)
Flosint	-	Analgésico y antiinflamatorio	
Fosfato de epinefrina	+	Vasoconstrictor	su acción vasoconstrictora se debe a la epinefrina, ver adrenalina, al ser una amina es (+)
Heparina	-	Trombolítico, reabsorción de hematomas y revascularizante	
Hialuronidasa	- o +	Resolutivo	
Hialopán	+	Anestésico superficial	
Hydergina	+	Vasodilatador	
Hidrocortisona	-	Antiinflamatorio	la potencia antiinflamatoria del cortisol va asociada a la potencia relativa de retención de Na <sup>+</sup> , luego el principio activo tendrá carga (-)
Indometacina	-	Analgésico, antiinflamatorio y antiúrico local	es un derivado metilado del indol
Ioduro de potasio	-	Facilitación cicatricial, fragilidad capilar	los ioduros son (-) por su ion I <sup>-</sup>
Lamuran	+	Vasodilatador	
Liquenine	-	Trombolítico, revascularizante	es heparina sódica (ver heparina)

**TABLA VII. 2**  
*(Continuación)*

Fármaco	Polaridad	Efectos	Observaciones
Lisalgil	- o +	Analgésico, antiinflamatorio	
Merinax	-	Trombolítico, revascularizante, reabsorción de hematomas	
Nitrato de aconitina	+	Analgésico	
Nitrato de argenta	+	Antiinflamatorio	
Nitrato de plata	+	Antiséptico	
Norflex	+	Miorrelajante	Orfenadrina
Novemina	+	Analgésico, antiinflamatorio	
Novalgina	- o +	Analgésico, antiinflamatorio	
Novocaína	+	Anestésico superficial	Clorhidrato de procaína
Novoyodo salicilato	-	Analgésico, antiinflamatorio	Salicilato de yodo
Nuperalina	+	Anestésico local	nuperalina, dibucaína; ver anestésicos locales como novocaína, cocaína
Optidasa	-	Antiúrico local	derivados de la colchicina para el tratamiento de la gota
Oxiferriscorbone	-	Facilitación cicatricial, analgésico, antiinflamatorio, antiedematoso	
Paranoval	-	Miorrelajante	
Percutalín	- o +	Analgésico, antiinflamatorio	este medicamento está formado por tres componentes fundamentales: -
Procaidón	+	Anestésico superficial	ver procaína o novocaína
Salicilato de litio	+ o -	Antiartrítico	



**TABLA VII. 2**  
*(Continuación)*

Fármaco	Polaridad	Efectos	Observaciones
Salicilato de sosa	-	Descongestionante, analgésico	
Socianato de prednisolona	-	Antiinflamatorio	la prednisolona es un adreno corticoesteroide derivado del cortisol (ver hidrocortisona)
Sulfato de cobre	+	Antiséptico y fungicida	acción debida al ion $\text{Cu}^{++}$
Sulfato de magnesio	+	Miorrelajante, cicatricial, fragilidad capilar	acción debida al ion $\text{Mg}^{++}$
Sulfato de quinina	+	Neurotrófico	
Thyomucase	-	Modificador tegumentario, antiedematoso	ver hialuronidasa
Tubarine	+	Miorrelajante	
Urokinasa	+	Trombolítico, reabsorción de hematomas	enzima proteolítica
Veneno de abeja	+	Antiálgico	
Venofortán	+	Fibrinolítica	
Vincapán	+	Vasodilatador	
Vitamina B <sub>1</sub>	+	Modificador tegumentario	
Xilocaína	+	Anestésico superficial	

### Equipo para galvanización e iontoforesis

R.G.P.I. n°: 1997/28/24854

Como se viene insistiendo, la técnica de galvanización e iontoforesis se emplea, actualmente, de forma empírica y obedeciendo a resultados de investigaciones por tanteo estadístico sin bases sólidas.

Es necesario establecer un sistema de trabajo que nos conduzca al establecimiento de dosificaciones claras, así como al conocimiento del comportamiento resistivo del organismo ante la aplicación de electricidad.

Luego este equipo se destina a investigar y conseguir tratamientos precisos, así como posibilitar aclaración de dudas con respecto a las referidas técnicas.

Los fisioterapeutas que aplicamos esta técnica necesitamos información detallada sobre sustancias terapéuticas y su comportamiento electroquímico. Para ello, con este galvanizador *se podrá componer una lista de medicamentos* con información suficiente y parámetros fiables.

Los equipos que actualmente se encuentran en el mercado señalan la intensidad eléctrica que circula, el tiempo transcurrido de sesión y, algunos, llegan a informar de los miliamperios por minuto circulados. Pero no aportan datos sobre la cantidad de iones introducidos ni sobre el comportamiento electro-molecular de los medicamentos (de los medicamentos realmente útiles). Tampoco sabemos nada acerca de los demás parámetros eléctricos del circuito, etcétera.

Las listas o vademécums de medicamentos actuales son pobres en datos y no aclaran dudas básicas, únicamente debemos guiarnos por trabajos de tanteo estadístico (Tabla VII. 3).

Por ello, es necesario un sistema que, además de resultados observables, nos aporte información básica para establecer bases firmes. No podemos sufrir situaciones publicitarias sobre ciertas sustancias que, posteriormente, se comprobó que eran eléctricamente no conductoras.

## OBJETIVOS QUE DEBEN ALCANZARSE

Será un equipo destinado a generar, dentro de la corriente galvanica, dos corrientes: es decir, corriente continua y pulsada con polaridad al 50% de componente galvánico, ambas para generar efectos galvánicos sobre el organismo e iontoforesis o introducción acelerada de medicamentos localmente por vía percutánea. Se ajustará a la normativa de la C.E.E.

TABLA VII. 3

	Nombre de la sustancia	Polaridad	Valencia	Peso molecular	Comportamiento de la molécula	Capacidad de paso a través de la piel	Persistencia del efecto terapéutico	Disolución del preparado	Indicaciones	Precauciones y contraindicaciones
Actualmente	Sí	Sí	No	No	No	¿?	¿?	Sí	Sí	Sí
Este proyecto	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Más preciso	Más preciso	Más preciso	Más precisas	Más precisas

Con diseño moderno basado en electrónica digital, controlado por *microprocesador*, con su programa o *software* correspondiente y *posibilidad de conexión a un ordenador personal (PC)*.

Así, el sistema medirá:

- por un lado, investigar y concretar los parámetros eléctricos de intensidad, voltaje, resistencia del circuito corporal para aplicar la Ley de Ohm y la Ley de Faraday a fin de calcular el arrastre de materia orgánica durante un determinado tiempo;
- y por otro, investigar y concretar el comportamiento y cambios del organismo durante las sesiones.

El aparato permitirá introducirle datos por teclado propio y controlar adecuadamente el estado de la batería para garantizar su aporte energético, evitar su agotamiento o deterioro rápido. Se diseñará y fabricará explícitamente su propio cargador de baterías que le acompañará.

Se resalta la instalación de un circuito de voz que leerá los parámetros aparecidos en la pantalla, pensando en los fisioterapeutas ciegos o, simplemente, en la actualización de datos que representa la información sonora.

## CAMPOS DE INTERÉS PARA SU APLICACIÓN

De entre varias utilidades, el galvanizador abordará diversos frentes fundamentales:

- 1) El galvanismo por sí sólo genera dentro del organismo efectos terapéuticos al influir en sus reacciones electroquímicas: genera calor, cambia el nivel de polarización de membrana y cambia el pH.
- 2) El galvanismo se utiliza como sistema electroforético para conseguir desplazamiento y penetración, a través de la piel, de sustancias o radicales iónicos medicamentosos.
- 3) También puede aplicarse para conseguir pequeñas quemaduras superficiales de forma controlada sobre la piel, pues permite el cálculo de los julios aplicados, así como explorar y encontrar la resistencia y capacidad de defensa de los distintos tejidos ante la corriente galvánica.
- 4) Puede utilizarse para localizar puntos de acupuntura y meridianos, averiguar el nivel de inflamación y como galvanopalpador para encontrar zonas alteradas, etcétera.
- 5) Podremos estudiar el comportamiento de la resistencia corporal cuando las sesiones son largas, investigar cuáles son los límites energéticos para evitar quemaduras, cómo se comportan las distintas zonas de la piel, cómo influye el tamaño de los electrodos, qué sustancias o fármacos permiten o no la conducción eléctrica, etcétera.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Será un aparato diseñado y fabricado en modalidad portátil, alimentado con batería de alta capacidad y recargable por su propio cargador diseñado con ese propósito. Caja de plástico con material homologado. Dispondrá de los adecuados sistemas de seguridad eléctrica, salida de aplicación y salida RS232 para captación de datos a un PC compatible, a fin de practicar investigaciones orientadas a la consecución de datos estadísticos.

La carga de batería será controlada por el microprocesador y no permitirá su uso en tanto el aparato se encuentre en situación de carga de batería.

Se diseñarán o adquirirán electrodos adecuados para las distintas funciones, siempre homologados.

## DESCRIPCIÓN DEL APARATO

La figura VII. 10 podría servir como orientación aproximada del aspecto externo del equipo, salvo cambios impuestos por las necesidades de diseño, de seguridad, constructivas o técnicas.

## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Trabjará en *intensidad constante*.

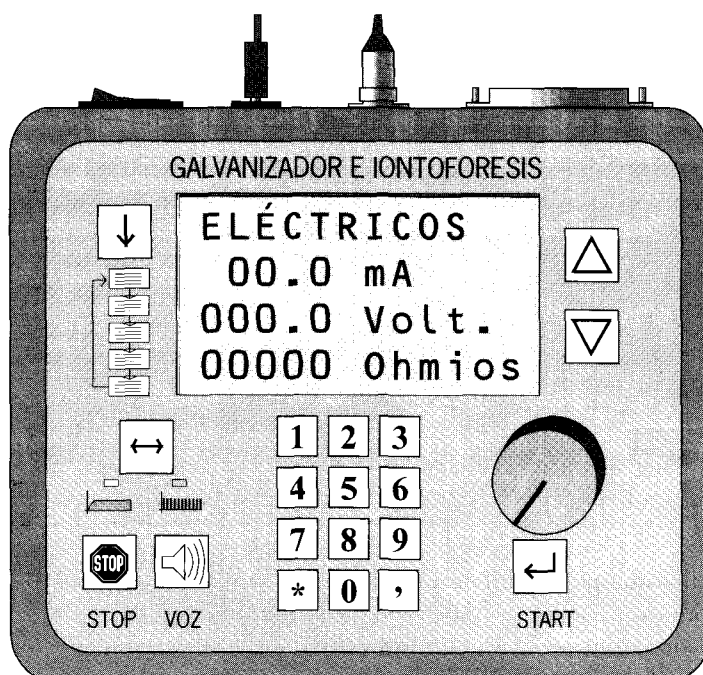


Figura VII.10.

- intensidad regulable desde 0 hasta 15 mA;
- voltaje máximo en vacío 180 Voltios (reajutable automáticamente);
- calcula la resistencia y la presenta;
- calcula la potencia y la presenta;
- calcula los Julios y los presenta;
- presenta el tiempo en cuenta atrás por minutos y cuenta adelante en segundos;
- no permite sobrepasar la densidad de energía por encima de  $0,15 \text{ mA/cm}^2$ ;
- aplica la Ley de Ohm para los distintos cálculos eléctricos;
- aplica la Ley de Faraday para cálculo teórico de la masa electroquímica desplazada;
- aplica la Ley de Joule para cálculo del trabajo realizado durante la sesión.

DIAGRAMA DE BLOQUES (Fig. VII. 11)

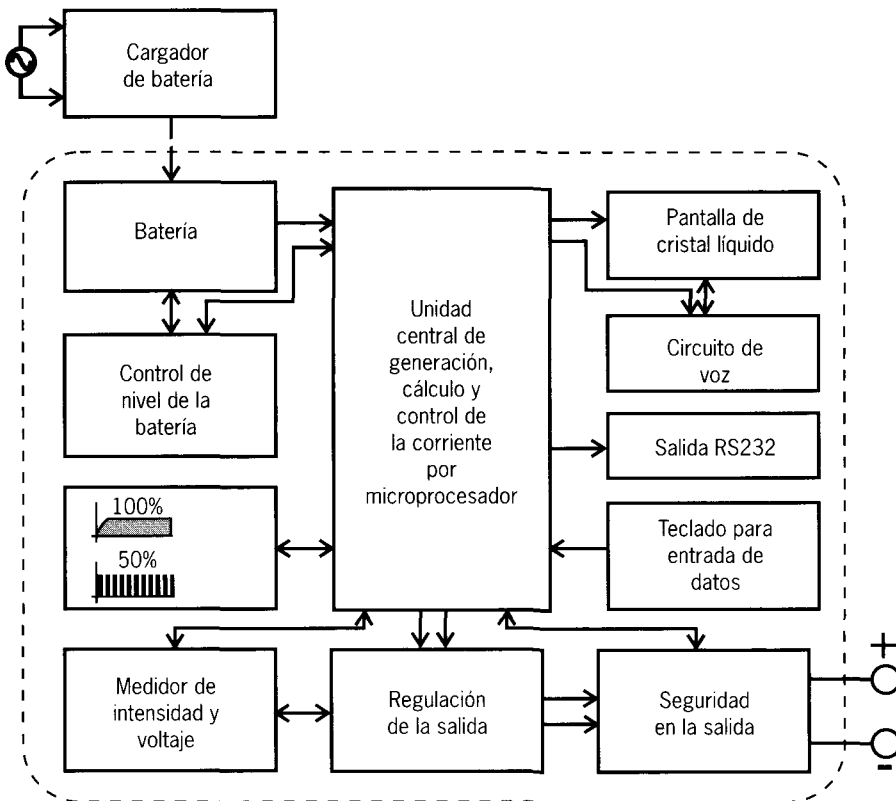


Figura VII.11.

## PRETENSIONES Y RESULTADOS

Se pretende conseguir un prototipo fiable y seguro que aporte información amplia y variada acerca de las circunstancias que rodean a la técnica de galvanización e iontoforesis. Para ello dispondremos de abundantes datos en las *seis pantallas consecutivas* que el prototipo es capaz de presentar, según la figura. VII. 12, si pulsamos la tecla de avance por las diversas pantallas y su correspondiente menú.

<p><b>ELECTRODOS</b>  35 cm<sup>2</sup>  0.15 mA/cm<sup>2</sup>  (+) rojo</p>	<p><b>DOSIS</b>  0.15 mA/cm<sup>2</sup>  00.0 mA  13 minutos</p>
<p><b>FÁRMACO</b>  22.99 p.mol  1 valencia  1.00 mg</p>	<p><b>ELÉCTRICOS</b>  00.0 mA  000.0 Volt.  00000 Ohmios</p>
<p><b>TRABAJO</b>  0.00 W  00000.00 Jul  00000 seg.</p>	<p><b>BATERÍA</b>  alta  baja  cargando</p>

Figura VII.12.

Los menús para ajuste de parámetros en pantalla de cristal líquido presentados por el galvanizador tendrán la siguiente cadencia:

- 1) Electrodos.
- 2) Dosis.
- 3) Fármaco.
- 4) Eléctricos.
- 5) Trabajo.
- 6) Batería.

Esto nos permitirá su uso como cualquier galvanizador simple o como instrumento para investigar diversos parámetros.

## 1. Electrodo

Esta pantalla o menú se activará desde el momento que sea pulsado el interruptor general. En la figura VII. 13 se indican las posibles variables a programar, los parámetros, límite de valores y fórmulas correspondientes.

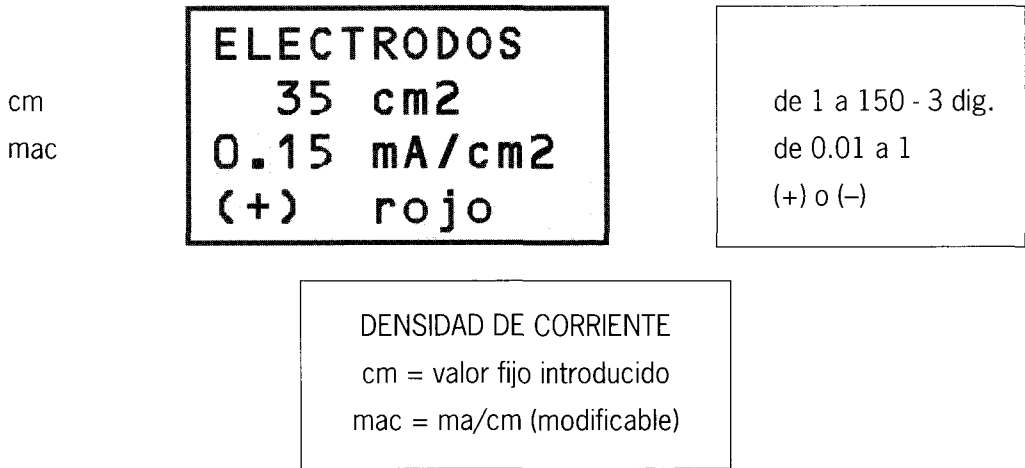


Figura VII.15.

- $\text{cm}^2$  de los electrodos;
- mA que deseamos circulen por cada  $\text{cm}^2$  y
- polaridad de los electrodos.

Estos ajustes se efectuarán con el teclado numérico. Una vez introducidos los parámetros de cada línea, pasamos a la siguiente pantalla.

El equipo presentará como valores prefijados los de  $35 \text{ cm}^2$ ,  $0,15 \text{ mA/cm}^2$  y el electrodo rojo como positivo (+).

Los mA totales solamente serán reflejados después de pulsar la tecla *start*, pero con los valores introducidos en este primer menú, el procesador ya sabe que deberán ser  $5,25 \text{ mA}$ , procedentes del cálculo:  $35 \text{ cm}^2$  por  $0,15 \text{ mA/cm}^2$ .

## 2. Dosis

Las formas de uso más habituales con los galvanizadores comercializados se apoyan en estas dos primeras pantallas, e incluso no es necesario retocar valor alguno, ya que el pro-

totipo ofrecerá preprogramados de fábrica, parámetros acordes con una aplicación sin riesgos.

Es por esto por lo que, desde el momento que lo activemos, pulsando la tecla *start*, iniciará un tratamiento con 0,15 mA/cm<sup>2</sup>, electrodo pequeño de 35 cm<sup>2</sup> y 13 minutos de sesión (pudiendo leer, al cabo de 3 sg, que por el circuito pasan 5,25 mA). En la figura VII. 14 se indican las posibles variables a programar, los parámetros, límite de valores y fórmulas correspondientes.

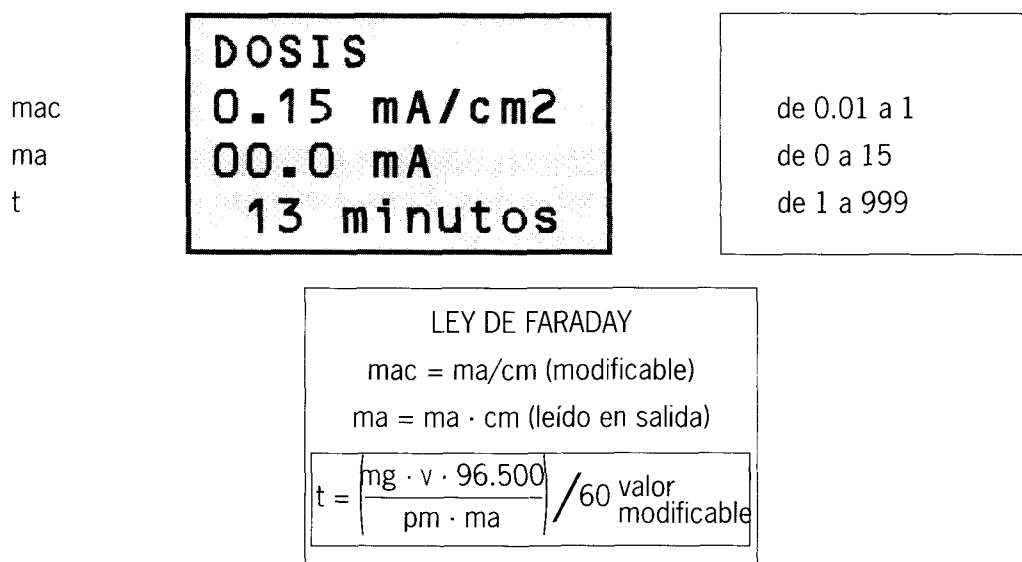


Figura VII.14.

Los miliamperios totales se mantendrán siempre en el mismo valor, ya que el galvanizador trabajará en corriente constante o intensidad constante (CC). Por este motivo, nunca pasará mayor intensidad que la regulada y controlada por el microprocesador, pero sí puede caer a cero siempre que el circuito electrónico no sea capaz de cumplir la Ley de Ohm.

Los minutos que se visualizan (13 min preprogramados) pueden aumentarse o disminuirse, o se verán otros valores procedentes de las operaciones matemáticas del microprocesador. En este caso, tendríamos que haber ajustado los miligramos que deseamos introducir en el siguiente menú. Luego, al reajustar el tiempo, influiremos en la cantidad de medicamento, e igualmente, al regular la cantidad de medicamento, cambiará el tiempo.

### 3. Fármaco

Cuando hayamos terminado con las regulaciones del menú anterior, avanzaremos hasta la pantalla de fármaco donde podremos indicar el peso molecular.



Estamos ya ante una función específica de este galvanizador destinado a iontoforesis, es decir, permitirá el cálculo (cuando menos aproximado) de la cantidad del medicamento que pretendemos introducir bajo la piel.

Primero, podremos reajustar los datos electroquímicos del radical medicamentoso que nos interesa y el procesador nos calculará el tiempo de la sesión de acuerdo con los parámetros eléctricos previamente ajustados.

El prototipo ya dispondrá de valores por defecto para que pueda aplicar la fórmula que lleva programada. Las cifras presentadas se refieren a la introducción de 1 mg de sodio Na<sup>+</sup>, cuyo peso molecular es de 22,99 y valencia de 1. Los 13 minutos prefijados en la anterior pantalla corresponden al tiempo necesario para conseguirlo. En la figura VII. 15, se indican las posibles variables a programar, los parámetros, límite de valores y fórmulas correspondientes.

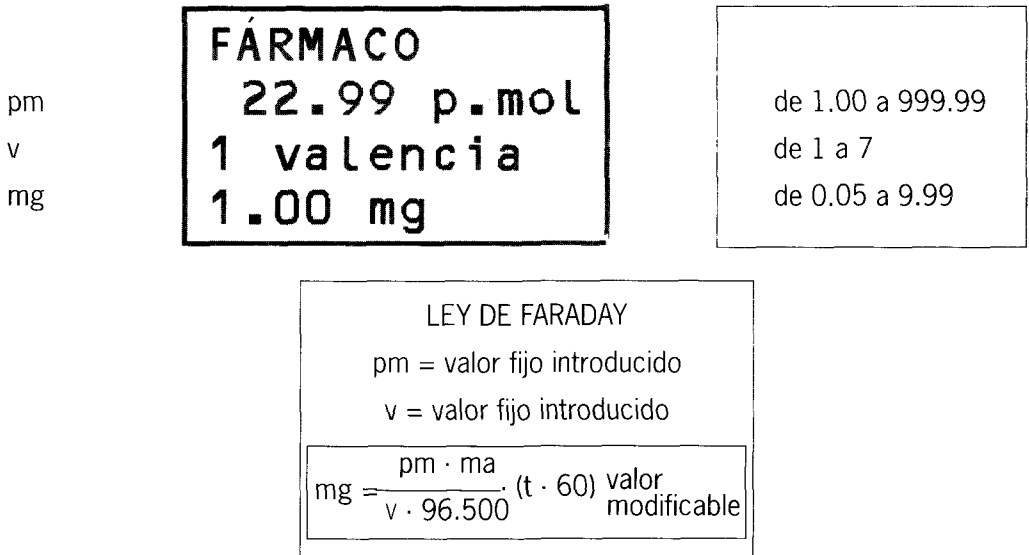


Figura VII.15.

Es fundamental esta pantalla, junto con los otros menús, para investigar sobre cubetas de ensayo en laboratorio el desplazamiento iónico de medicamentos, las disoluciones que los sustentan, el comportamiento molecular y la permeabilidad de las diversas membranas (la piel).

#### 4. Eléctricos

Este menú nos ofrece los valores eléctricos procedentes de cálculos, según los parámetros introducidos en el circuito de acuerdo con la Ley de Ohm. Esta pantalla se destina a los procesos de investigación y comprobación sobre el funcionamiento del circuito al paciente, así como para calcular y averiguar la conductividad de los diversos medica-

mentos, disoluciones, electrodos, tejidos y membranas. En la figura VII. 16, se indican las posibles variables a programar, los parámetros, límite de valores y fórmulas correspondientes.

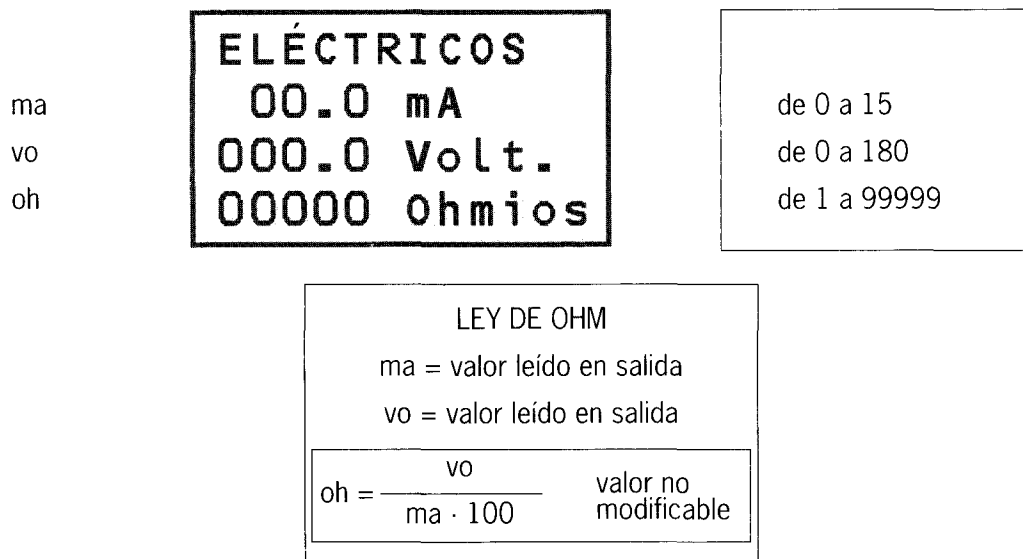


Figura VII.16.

Hasta que el equipo no se encuentre trabajando, lógicamente, no aparecerán parámetros, pues los valores de intensidad y voltaje son reales y leídos en el punto de salida.

Solamente dispondríamos de un parámetro para reajustar, el de mA, el cual también reflejará la medida real en la salida. La resistencia viene dada por los cálculos del procesador al aplicar la Ley de Ohm.

### 5. Trabajo

Cuando avancemos a la pantalla de trabajo, como investigadores, obtendremos información sobre el comportamiento del circuito en cuanto a potencia, trabajo y, fácilmente, posibles calorías aplicadas a los tejidos según avanzan los segundos. Esta información aportará datos muy interesantes a la hora de encontrar comportamientos de los tejidos ante quemaduras controladas: cómo evitar quemaduras, transformación de la energía en calor, análisis del efecto térmico de la galvánica, etc. En la figura VII. 17 se indican las posibles variables a programar, los parámetros, límite de valores y fórmulas correspondientes.

Esta información no es modificable pero sí estará presente en esta pantalla en cualquier momento de la sesión, desde el instante en que ésta se inicie.

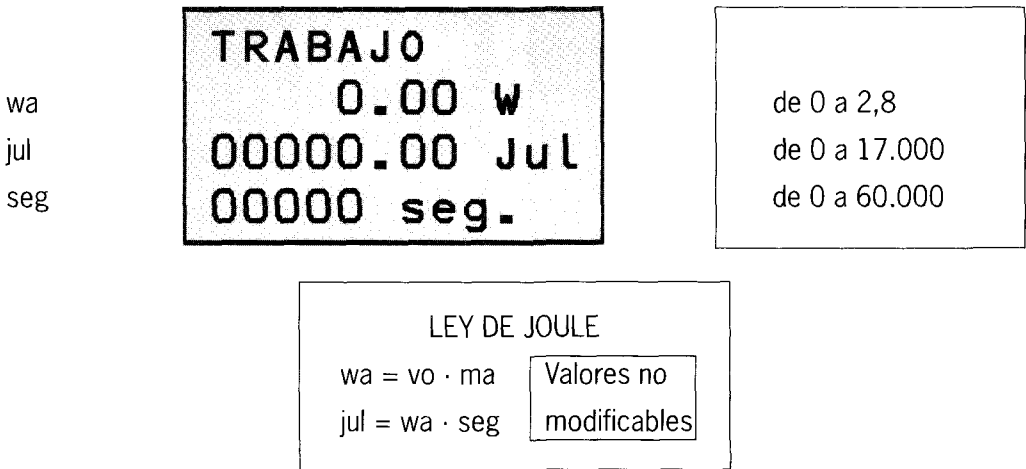


Figura VII.17.

## 6. Batería

Esta pantalla se activará por tres razones (Fig. VII. 18):

- bien por la tecla de avance de menú,
- bien por descarga de la batería o
- cuando se conecta la clavija de recarga.

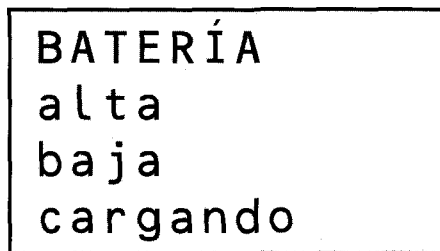


Figura VII.18.

Si pasamos por este menú, y el prototipo se encuentra en situación normal, nos indicará que el estado de la batería es alto o bajo (Fig. VII. 19).

Si se ha descargado, en la pantalla leeremos que la batería se encuentra baja. Cuando conectemos la clavija de recarga se activará este menú sin poder cambiar a otros, diciéndonos que la batería se halla cargando y baja (Fig. VII. 20).

En el momento que se complete su carga, desaparecerán las palabras «cargando» y «baja» para indicarnos que la batería está «alta» y dispuesta para su uso siempre que desconectemos la clavija del cargador.

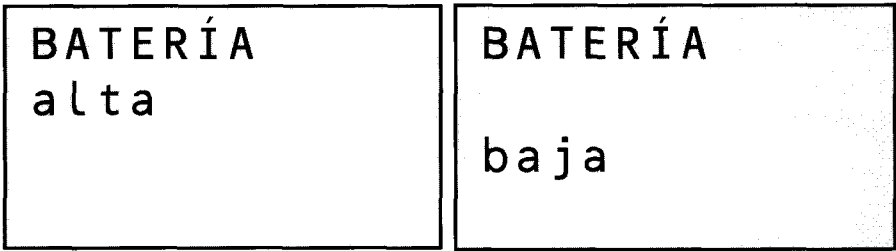


Figura VII.19.

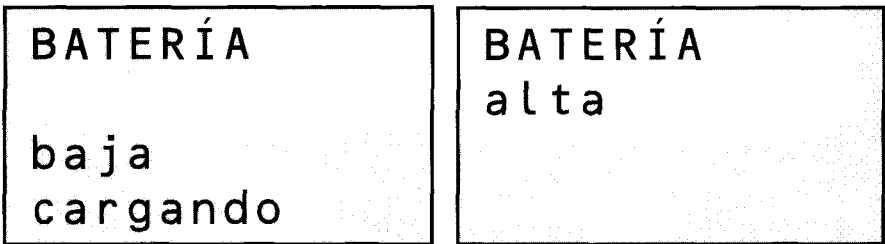


Figura VII.20.

IONTOFORESIS CON GALVÁNICA PURA O GALVÁNICA AL 50%

El prototipo dispondrá de un doble sistema de aplicación, inyectando (Fig. VII. 21):

- corriente continua con eficacia galvánica al 100% y
- de forma pulsada al 50%, introduciendo reposos entre los pulsos —ambos de igual duración— de manera que la frecuencia obtenida sea de 125 Hz (4 m de pulsos rectangulares y 4 m de reposo).

El sistema pulsado ofrece ventajas sobre la corriente galvánica pura: no agrede tanto a la piel y además provoca un importante estímulo sensitivo de calambre eléctrico que aporta nuevos efectos terapéuticos a modo de analgesia tipo *tens*.

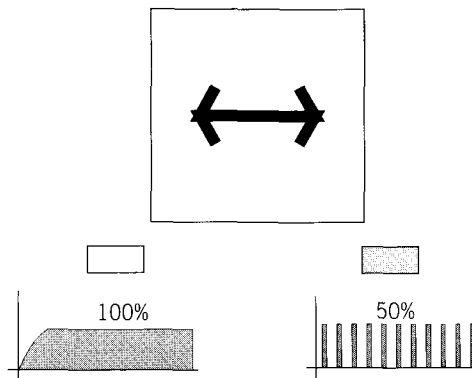


Figura VII.21.

## PARADA DEL GALVANIZADOR

En cualquier momento podemos detener la sesión del tratamiento presionando la tecla *stop*. Tanto al pulsar la tecla de *start* como la de *stop*, el aparato alcanzará su intensidad máxima o la disminuirá a cero, respectivamente, de forma progresiva durante 3 segundos.

## REGULACIÓN DE INTENSIDAD

Con el potenciómetro giratorio podemos ajustar la intensidad en mA o mA/cm<sup>2</sup> en tiempo real, es decir, durante la sesión y únicamente en tres pantallas:

- *Electrodos.*
- *Dosis.*
- *Eléctricos.*

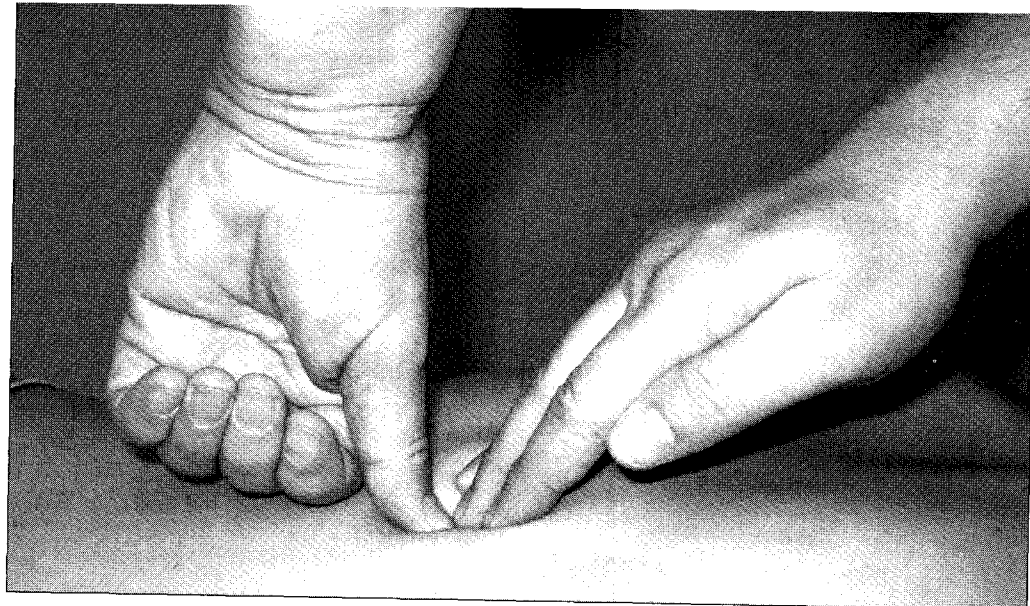
## SISTEMA DE VOZ DEL GALVANIZADOR

Se pretende que este galvanizador disponga (*a voluntad*) de su propio sistema de información sonora, de forma que toda información alfanumérica presentada en pantalla sea leída verbalmente: bien como ayuda a quien tenga dificultad para leer la pantalla de cristal líquido (fisioterapeutas ciegos) o, como simple refuerzo de información, por vía sonora además de visual; pues en multitud de ocasiones se está pendiente visualmente de un proceso y no será necesario apartar la mirada para recibir la información en tiempo real y continuado por vía auditiva.

## FIABILIDAD DEL PROTOTIPO

*Una vez terminada su construcción y puesta a punto, será sometido a diversos protocolos de experimentación a fin de establecer dosificaciones eléctricas y dosificaciones medicamentosas, así como para delimitar los riesgos de la corriente galvánica.*

*También será necesaria la colaboración de bioquímicos o farmacéuticos para encontrar una lista básica de sustancias terapéuticas que garanticen su efectividad y que aporten información suficiente como para trabajar con una mínima precisión.*



## CAPÍTULO VIII

### **Terapia analgésica por corrientes estimulantes. Técnica de estimulación nerviosa transcutánea sensitiva y motora**

Además de los efectos antiálgicos del galvanismo, en electroterapia disponemos de una amplia gama de corrientes diseñadas para atacar al dolor en su causa, en su origen o en su trayectoria, bien cuando son excitadas las distintas terminaciones nerviosas o cuando es conducido por vías sensitivas hacia el sistema nervioso central.

Hasta este punto veníamos tratando de la corriente galvánica, caracterizada por ser de flujo y corriente mantenidos sin variaciones, sin cambios de polaridad y sin oscilaciones. A partir de ahora entramos en una gama de corrientes caracterizadas por flujo interrumpido, sin o con cambios de polaridad y creando formas variables con los impulsos y reposos entre impulsos, los cuales serán analizados más adelante.

Antes de entrar en las técnicas y formas de atajar el dolor aplicando corrientes eléctricas vía cutánea (*transcutánea*), debemos hacer una introducción sobre el dolor, sus posibles mecanismos de producción y de conducción por las vías nerviosas, dentro de lo que nos permitan las dudas sobre el tema, y sin entrar en teorías más o menos especulativas, ya que todavía quedan muchos puntos e incógnitas por aclarar en este asunto.

#### **Dolor**

El dolor es originado por estímulos diversos:

- calor intenso;

- presión excesiva;
- deformación exagerada de tejidos;
- agresión química;
- alteraciones metabólicas de la zona;
- descarga eléctrica, etcétera,

sobre las distintas y variadas terminaciones nerviosas, a condición de que dichos estímulos superen y saturen ampliamente el umbral sensitivo.

*Debemos sustituir la tan familiar expresión de «dolor» por «dolores», dado que son muchas las formas, causas, procedencias, etcétera.*

*Si pretendemos aliviar dolores, debemos previamente aprender a explorarlos, localizarlos, escucharlos, entenderlos, interpretarlos y saber su origen para poder utilizarlos como herramienta que nos conduzca a conclusiones de lo que está ocurriendo en el interior del organismo y, así, establecer las adecuadas y mejores estrategias de tratamiento (ver Fig. VIII. 12).*

## Tipos de dolor

Nos encontramos ante variados tipos de dolor, que podemos clasificar:

- A. Según la *percepción subjetiva* del paciente;
- B. Según la *causa o estímulo que los origina*;
- C. Según la *respuesta que desencadenan* en el paciente;
- D. Según la *forma en que son tratados*.

### A. PERCEPCIÓN SUBJETIVA

No entraremos demasiado en detalles, pero sí nos pararemos a analizar, aunque someramente, algunos puntos. Las sensaciones de dolor más llamativas pueden ser: agudo, sordo, visceral, punzante, lancinante, profundo, en cinturón, superficial, opresivo, local, extenso, irradiado, referido, dolor fantasma (del miembro amputado), taladrante, latidos dolorosos, dolores errantes, etc. Esto, en cuanto a las típicas expresiones de los pacientes.

El dolor es un síntoma generado por la gran mayoría de patologías; dolor al que los fisioterapeutas tenemos que tratar de eliminar o aliviar con los medios y herramientas que se hallan a nuestro alcance.

*A causa de las dudas que persisten sobre el dolor, están floreciendo una serie de medicinas paralelas a la oficial, ya que es el propio paciente el que acude a diversas alternativas con el fin de aliviarle «de ese síntoma» que le agobia y le impide vivir dentro de la normalidad, y ante el que los profesionales, con cierta frecuencia y ligereza, tendemos a ocultar nuestra impotencia e ignorancia atribuyéndolo a causas psicógenas del paciente.*

Probablemente, un gran grupo de dolores tiene mucho que ver con la fisiología del sistema nervioso vegetativo, o «sistema nervioso de la supervivencia».

## B. CAUSAS DEL DOLOR

Las causas generadoras pueden ser múltiples, e incluso inexplicables, en tanto no conozcamos más de la fisiología y fisiopatología del sistema nervioso. Veamos algunas, como:

- estimulación exagerada de las terminaciones nerviosas de relación (sensación de presión, propioceptivas, de calor, de sensibilidad superficial, auditivas, visuales);
- destrozo o rotura de los nervios y sus terminaciones;
- irritaciones químicas de las terminaciones nerviosas;
- compresión mecánica de los nervios;
- causas psicósomáticas;
- dolores reflejos, referidos y metaméricos, etcétera.

## C. RESPUESTAS AL DOLOR

Tal vez, cada persona sienta distinto nivel de molestia ante el mismo estímulo doloroso, manifestando como respuesta más inmediata:

- malestar;
- actitudes posturales de defensa o inmovilizadoras;
- descargas hormonales;
- despertar del sueño;
- activación del simpático;
- tensión emocional;
- contracturas musculares que desencadenarán otras alteraciones como:
  - zonas de isquemia;
  - acortamientos de tejidos;
  - limitación de la movilidad articular;
  - pérdida de fuerza muscular;
  - fibrosis musculares;
  - edema muscular en la zona con acúmulo de catabolitos;
  - zonas de nuevos dolores a distancia del original;
  - alteraciones de la biomecánica corporal y, en fin,
  - pueden ser causa de alteraciones a medio y largo plazo sobre el cuerpo y la psique fáciles de prever o, tal vez, insospechadas.

Los fisioterapeutas con cierta experiencia conocen casos de pacientes en los que, por referir un ejemplo, con una simple artrosis de una pequeña articulación en un hueso del carpo se puede generar una algodistrofia o un síndrome hombro-mano, en tanto que, otros con fracturas conminutas de extremidad distal de radio y carpo, no muestran dolor ni alteraciones neurovegetativas. ¿Qué diferencias existen entre ambos?



#### D. CONDUCCIÓN DEL DOLOR (SISTEMA AFERENTE O SENSITIVO)

El organismo, en su sistema nervioso central, recibe información del exterior y de sí mismo a través de toda la red de nervios periféricos sensitivos:

- del sistema voluntario;
- del sistema autónomo y, tal vez,
- mediante sistemas de interconexión electroquímica poco conocidos.

La estructura básica fundamental de transmisión hasta la corteza se basa en los siguientes órganos fundamentales (Fig. VIII. 1):

- 1) *Terminación nerviosa o detector* de los estímulos que los convierte en impulsos nerviosos.
- 2) *Sinapsis de unión* con la fibra de transmisión.
- 3) *Fibra de transmisión* del impulso desde el detector hasta la médula, por el asta posterior. Las fibras procedentes del sistema vegetativo o visceral, antes de entrar al asta posterior, hacen un alto en los ganglios paravertebrales o previscerales, en el que desencadenan impulsos eferentes, los cuales provocarán respuestas inflamatorias y contracturas musculares estriadas y de vasos sanguíneos y linfáticos.

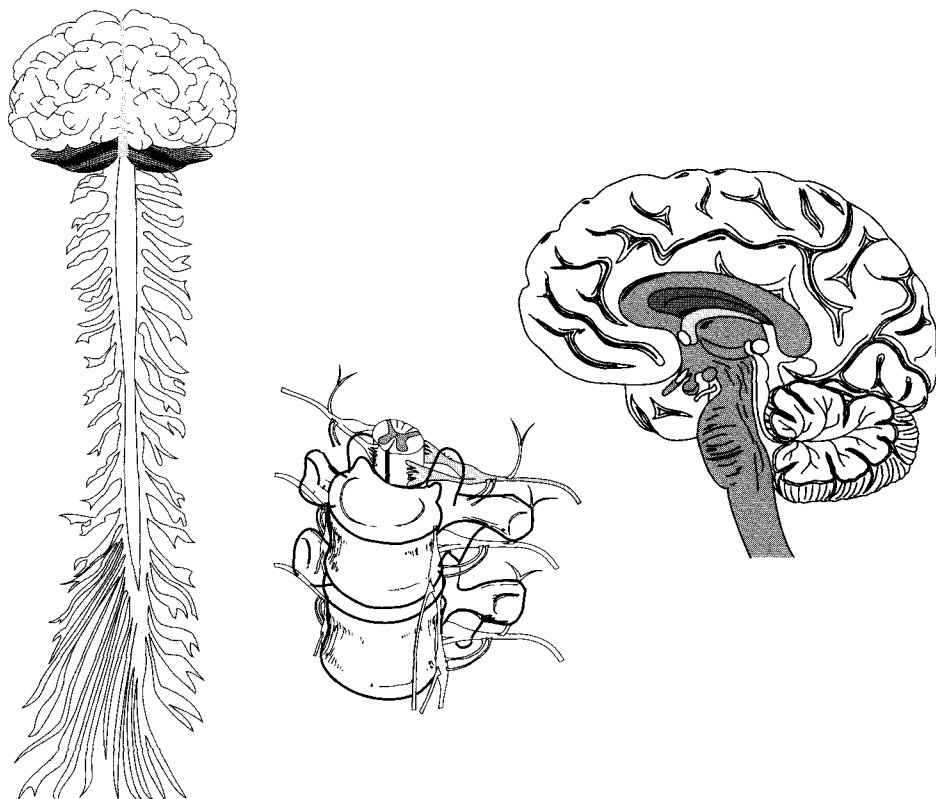


Figura VIII.1.

- 4) La fibra que aborda la médula llega a la *formación reticular medular*, punto de intersección y sinapsis de otras aferencias y eferencias, como pueden ser: la generación de impulsos destinados a los reflejos o la coordinación muscular refleja del mismo lado o del lado contralateral. En la formación reticular medular o espinal será donde supuestamente se produce el efecto de «gate control» sobre el dolor, que más adelante veremos.
- 5) *Vías espinotalámicas*, es decir, las fibras nerviosas que unen los filtros medulares o formaciones reticulares medulares con el tálamo, corteza, cerebelo y los centros nerviosos del tronco cerebral, también llamadas «formación reticular del tronco cerebral».
- 6) *Formación reticular del tronco cerebral* formada por el complejo de núcleos en los cuales se filtran y reelaboran los impulsos sensoriales que allí llegan para ser anulados, reconducidos, desviados, filtrados, desencadenar impulsos motores, respuestas hormonales, respuestas psicósomáticas, inhibición de la coordinación cerebelosa, etcétera. En esta formación reticular se da mucha importancia a las activaciones o inhibiciones de tipo químico (hormonas y endorfinas).
- 7) *Fibras de unión* entre los centros del tronco y la corteza cerebral.
- 8) *Corteza cerebral sensitiva* (somatoestésica) donde se hará real y consciente la sensación de dolor y su localización.

## Teoría del dolor por vías sensitivas

Si damos como buena la posibilidad por la que las terminaciones nerviosas de relación con el medio pueden ser transmisoras de dolor, tanto las terminaciones sensitivas como las fibras de conducción del impulso poseen una serie de características morfológicas y funcionales que no se pueden pasar por alto si queremos entender, «acerca de lo poco que se sabe», sobre este capítulo de la fisiología.

- 1) Cuando el estímulo es muy intenso, en la misma proporción aumenta la frecuencia de impulsos que serán conducidos por el nervio correspondiente vía médula hasta centros nerviosos del tronco cerebral y corteza.
- 2) Un estímulo cualquiera aplicado desde el exterior puede producir una sensación que es percibida según los siguientes niveles:
  - *subliminal*, no se siente;
  - *supraliminal* (normal);
  - *fuerte o molesta* con alteraciones de la sensación normal y
  - *dolorosa* con distintas intensidades de dolor por saturación.
- 3) Unos receptores tienen la propiedad de acomodarse rápidamente al estímulo aplicado, generan su tren de impulsos, más o menos corto, e inmediatamente pasan al estado de reposo. Mientras, otros, una vez recibido el estímulo, no se acomodan y siguen generando impulsos que son conducidos hacia la corteza (entre ellos se hallarían los nociceptores).

- 4) Para percibir la sensación de dolor, los impulsos generados tienen que ser conducidos hasta la corteza cerebral; si éstos no alcanzan la corteza, no serán referidos como dolor.
- 5) Cuando las terminaciones nerviosas de relación, tacto, presión, elongación, propiocepción, etc. se encuentran en un ambiente metabólico normal, los estímulos moderados se perciben como estímulos nerviosos. Pero, si se hallan en un ambiente metabólico alterado, los estímulos moderados se perciben como dolorosos, en relación directa con el grado de alteración metabólica. Cuando palpamos un tejido inflamado, generamos dolor, pero la misma palpación en un tejido normal genera sensación de presión.

### Mecanismo de activación-inhibición

El sistema nervioso, a pesar de su complejidad, muestra dos funciones básicas (de entre otras muchas) que a nosotros nos interesan en este momento:

- *función activadora* y
- *función inhibidora*.

Normalmente, un estímulo genera un impulso nervioso, el impulso nervioso alcanza las sinapsis o formaciones reticulares, *activan* la generación de otros impulsos nerviosos o *inhiben* e interrumpe impulsos que ya estaban circulando (Fig. VIII. 2).

La gran mayoría de nuestras técnicas fisioterápicas se basan en estos dos mecanismos (*activación e inhibición* nerviosa) tanto si son empleadas en electroterapia como en fisioterapia para neurológicos, para reumatismo, movilidad articular, elongaciones musculares, potenciación, propiocepción, coordinación, hidroterapia, masaje, etcétera.

Con esta parte de la electroterapia que estamos tratando, tenemos que buscar las formas de interferir, interrumpir o inhibir los impulsos nerviosos que son conducidos como dolorosos. El llamado efecto puerta o «gate control».

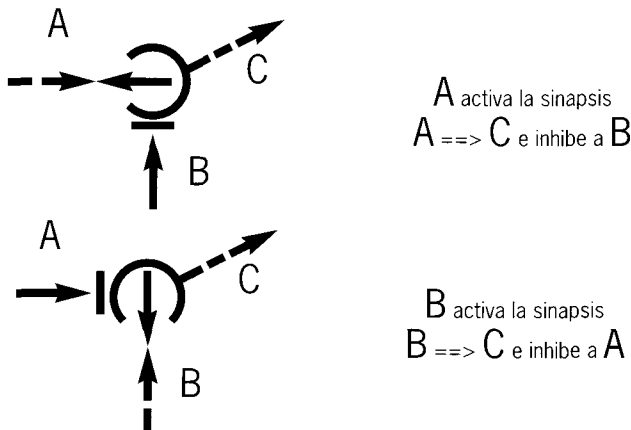


Figura VIII.2.

## Neurorreceptor o terminación nerviosa

Existen varios tipos y clasificaciones de neurorreceptores atendiendo a su función, forma, tamaño, densidad o abundancia en una zona determinada y por su especialización o comportamiento fisiológico.

Fundamentalmente, los neurorreceptores se dividen en tres grandes grupos:

- exteroceptores;
- interoceptores (quimiorreceptores) y
- propioceptores (mecanorreceptores).

### LOS EXTEROCEPTORES

Normalmente, son los más conocidos. Relacionan al ser humano con el medio. Su función es la de transmitir rápidamente al sistema nervioso central las sensaciones de tacto, temperatura, olores, visión, etc. Pero, en su origen, no tienen la función de detectar dolores, a no ser que superemos con mucho el umbral sensitivo, produciendo un estímulo nervioso que se convertirá en dolor, o que estas terminaciones se vean envueltas por un ambiente metabólico alterado que las convierte en hipersensibles.

Lógicamente, la forma de aliviar este tipo de dolores se basará en evitar la agresión y, así, desaparecerá el dolor de forma más o menos rápida, dependiendo de la intensidad del estímulo o de la capacidad de recuperación y acomodación de dichas terminaciones.

Acabaremos comprobando la importancia de una función de estos exteroceptores, sobre la cual se basa la teoría del «gate control» y que más adelante será estudiada.

### LOS INTEROCEPTORES

Son terminaciones que informan al simpático y parasimpático del estado, función y niveles metabólicos de los tejidos, de las vísceras y órganos internos. Son los menos conocidos junto con su sistema de transmisión y, tal vez, en esta parte de la fisiología nerviosa se encuentren muchas razones y explicaciones no halladas sobre fenómenos que el empirismo nos demuestra su existencia. Actúan como antiálgicos en determinadas circunstancias u ocasiones, sin entender, en otras, el por qué no se obtiene la eficacia deseada.

En esta parte del sistema nervioso, tal vez se hallen las relaciones con el mundo de las distintas *reflexoterapias, acupuntura, reacciones neuroquímicas, hormonales*, etcétera.

Los dolores de tipo visceral son los más difíciles de atacar con nuestros medios de estimulación eléctrica sensitiva, a no ser que poseamos un buen bagaje de conocimientos y práctica en acupuntura (en nuestro caso electropuntura) o estimulación de otras zonas reflejas.

### LOS PROPIOCEPTORES O MECANORRECEPTORES

Están mejor estudiados, se localizan fundamentalmente en las cápsulas articulares, fascias y tendones para informar en todo momento de la tensión y posición de los órganos, miembros, presiones de líquidos, relación con el espacio, etcétera.

En la clasificación que se hace de estos neuroreceptores, se hallan los *nociceptores* o receptores del dolor (que también se localizan en otras partes del organismo, y no solamente en las articulaciones).

Las terminaciones *propioceptivas* en general y su primer tramo nervioso se clasifican según la tabla VIII. 1.

TABLA VIII. 1

Tipos	(I)	(II)	(III)	(IV)
Forma	globular ligeramente encapsulados, 100 · 400 $\mu\text{m}$ en grupos de 3 a 8	cónicos, con gruesa cápsula de 300 · 400 $\mu\text{m}$ aislados en grupos de 2 a 3	fusiformes, de 600 · 100 $\mu\text{m}$ , se hallan normalmente aislados	forma arracimada, con pequeñas puntas no mielinizadas
Localización	en la superficie de las cápsulas fibrosas	en la profundidad de las cápsulas fibrosas y en las bolsas de almohadillado articular	ligamentos y tendones relacionados con las cápsulas	en el grosor de las cápsulas, paredes vasculares, articulares y serosas articulares
Tipo de propioceptores	mecanorreceptores estáticos y dinámicos, de baja sensibilidad y acomodación lenta	mecanorreceptores dinámicos de baja sensibilidad y adaptación rápida	mecanorreceptores de alta sensibilidad y adaptación muy lenta	nociceptores de alta sensibilidad que no tienen acomodación
Función	— Efectos tónicos reflejos en la musculatura adyacente — Propiocepción postural y cinética — <i>Suprimen el dolor de los nociceptores</i>	Respuestas fásicas motoras en la musculatura adyacente y contralateral — <i>Suprime el dolor de los nociceptores temporalmente</i>	— Parece ser que tienen mucho que ver con la función de los órganos de Golgi en la detección de la tensión muscular y tendinosa	— Efectos tónicos y reflejos sobre la musculatura adyacente — Evocan el dolor — <i>Efectos reflejos desencadenados a distancia del punto generador</i>
Cubierta mielínica	poca mielinización: de 6 a 9 $\mu\text{m}$	media mielinización de 9 a 12 $\mu\text{m}$	buena mielinización de 13 a 17 $\mu\text{m}$	muy poca mielinización de 1 a 5 $\mu\text{m}$ o sin mielinización

En fisioterapia, atribuimos bastante importancia a los neuroreceptores articulares, porque encontraremos multitud de patologías en las que los dolores se localizan en las articulaciones y sus partes blandas próximas. A título de ejemplo, podemos pensar en todos los procesos de algias en la espalda, donde se asegura que las alteraciones articulares (articulaciones vertebrales posteriores) son causantes de diversidad de síntomas y manifestaciones patológicas soportadas por el sistema nervioso central, de las cuales la primera en hacerse objetiva es el *dolor*.

## Teoría del dolor por nociceptores

### LOS NOCICEPTORES

**Queda por aclarar la existencia definitiva de terminaciones nerviosas específicas para detectar dolor. En cuanto a fibras nerviosas que lo conducen, sí parece evidente su existencia. De haber terminaciones nociceptoras, se encontrarían en forma de terminaciones libres que se unen a fibras de tipo C, siendo sensibles a tres formas fundamentales de estímulo:**

- 1) nociceptores mecanosensibles;
- 2) nociceptores termosensibles (comienzan a estimularse a 15 °C para el frío y a 45 °C para el calor) y
- 3) nociceptores quimiosensibles

Respondiendo, respectivamente, a que el estímulo provenga de una deformación de tejidos, de aumentos o disminuciones de temperatura que superen los umbrales dolorosos o que se sientan agredidos por sustancias químicas, de las cuales citaremos algunas muy interesantes para nosotros, por ser propias del metabolismo orgánico:

- bradiquinina;
- serotonina;
- iones potasio;
- radicales ácidos;
- histamina;
- prostaglandina;
- acetilcolina y
- enzimas proteolíticas.

## Conducción del dolor

Los impulsos sensitivos son conducidos por los nervios; y éstos poseen multitud de fibras nerviosas o axones de diferentes tamaños en dos formas fundamentales:

- *fibras mielínicas* de 1 a 20 micras ( $\mu\text{m}$ ) de diámetro y

- *fibras amielínicas* de 0,5 a 2 micras ( $\mu\text{m}$ ), normalmente más abundantes que las mielínicas debido a la multitud de funciones neurovegetativas a realizar.

Las sensaciones dolorosas son conducidas preferentemente por las vías nerviosas aferentes específicas del dolor (tipo C) los dolores viscerales, cronificados, por alteraciones metabólicas. Mientras que los dolores, a causa de estímulos muy intensos y agresivos, serán conducidos por las vías destinadas a transmitir las sensaciones recogidas como información normal y rápida (algunas de tipo A) (Fig. VIII. 3).

## LAS FIBRAS MIELÍNICAS

Se caracterizan por tener la membrana recubierta de una capa de mielina que las hace menos permeables o de mayor resistencia eléctrica con respecto al exterior. Presentan disminuciones periódicas en el grosor de la mielina (nódulos de Ranvier) por las que se realiza la despolarización, permitiendo que dicha despolarización de membrana se realice en tramos (*avance saltatorio* del impulso).

Al ser más gruesas que las amielínicas, la resistencia eléctrica por su interior disminuye, facilitando la rapidez de conducción del estímulo que, a su vez, se ve favorecida por la forma de avance saltatorio a través de los nódulos de Ranvier, los cuales permiten la autoregeneración del impulso en cada nódulo sin que pierda potencia en su avance.

Cuando las referidas fibras conducen dolores, éstos son intensos, fulminantes, de agresiones traumáticas o estímulos excesivamente fuertes; en general, implican respuesta de defensa. El dolor es conducido por las fibras A-delta. Cuando el dolor es transmitido a la corteza por las vías espinotalámicas, estas fibras *no* conectan con la formación reticular del tronco cerebral, sino que van directamente a la corteza con el fin de generar una información rápida y crear respuesta *motora* de defensa inmediata.

Las velocidades de conducción oscilan entre 6 a 120 metros por segundo, según su menor o mayor grosor.

## LAS FIBRAS AMIELÍNICAS

Estas cifras se caracterizan por no tener recubierta su membrana con la capa de mielina ni nódulos de Ranvier ni avance saltatorio y que unido a su menor sección, nos permitirá obtener el siguiente resultado:

Por no poseer mielina, su velocidad de conducción se ve reducida 10 veces para el mismo diámetro. Su pequeño diámetro aumenta la resistencia eléctrica, con lo que cae progresivamente la intensidad y fuerza del impulso. Al no poseer avance saltatorio, la despolarización avanza progresivamente por el axón, otra razón que frena la rapidez de avance sin poder autoregenerar el impulso, como lo hacen las mielínicas en los nódulos de Ranvier.

Las velocidades que se consideran medias para estas fibras nerviosas se encuentran en los márgenes de 1 metro/segundo (1 m/s) para 1  $\mu\text{m}$  de diámetro y menor velocidad para diámetros inferiores.

**CLASIFICACIÓN FISIOLÓGICA Y FUNCIONES DE LAS FIBRAS NERVIOSAS**

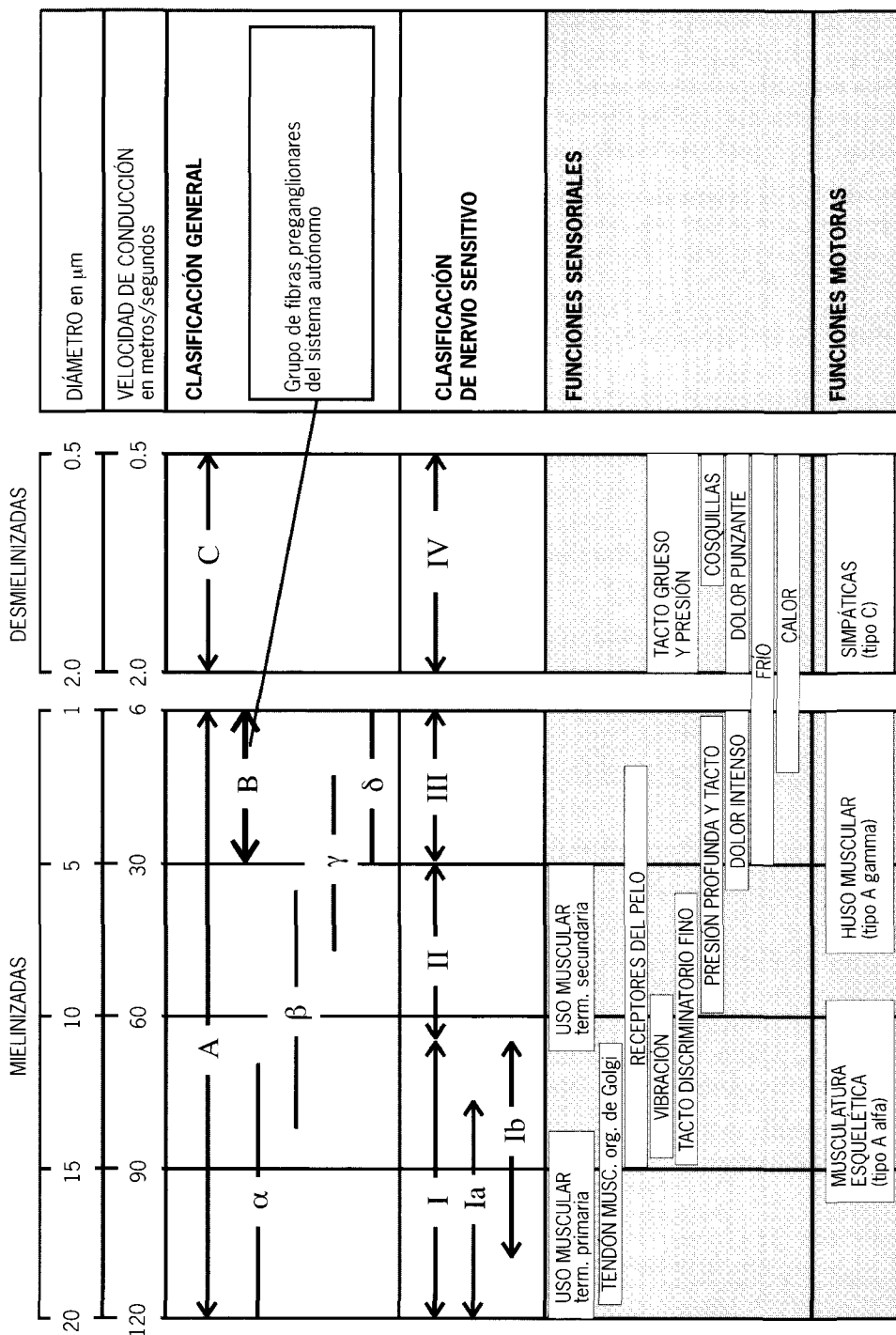


Figura VIII.5.



Conducen dolores sordos, persistentes, crónicos, difuminados, reflejos, normalmente producidos por alteraciones iónicas y metabólicas en las zonas de terminaciones nerviosas. El dolor es conducido por las fibras de tipo C. Cuando es transmitido a la corteza cerebral por las vías espinotalámicas, conectan con la formación reticular del tronco cerebral (tálamo fundamentalmente) desencadenando desde este núcleo multitud de respuestas lentas de alarma y alerta (ya mencionadas más arriba).

A su vez, estos dos grandes grupos de fibras encierran a otros, representados en la tabla VIII. 2.

## Equipos y utillaje para analgesia con TENS

Ante todo, debemos darnos cuenta de que no podemos tomar «**la parte por el todo**». Es decir, queda claro que el tema contiene en sí la suficiente entidad y complejidad como para considerarlo una técnica bastante compleja, la cual se merece un nombre que bien puede ser: *técnica de estimulación nerviosa transcutánea (sensitiva y motora) para el dolor*, en lugar de emplear una sigla referida a un «**aparato de pilas que elimina los dolores**». Sigla que, por otra parte y como casi todas, no hace más que sembrar confusión, charlatanería y falso misterio.

El aparato normalmente utilizado y, últimamente, diseñado para esta función es el TNS (ENS, TENS, ENT en castellano), o *estimulador nervioso transcutáneo* (tanto sensitivo como motor). Los TENS miniaturizados de primera generación eran muy simples: con dos electrodos (cátodo y ánodo), selector de corriente, regulador de frecuencia, potenciómetro de intensidad y no más de una salida de aplicación.

TABLA VIII. 2

Tipo de fibra	Función	Diámetro medio en $\mu\text{m}$	Velocidad en m/sg
A alfa	— Aferencias de los músculos fusiformes y órganos tendinosos — Eferencia a la musculatura esquelética	15	70 a 120
A beta	— Aferencia de la piel (sentido del tacto)	8	30 a 70
A gamma	— Eferencia a los músculos fusiformes	5	30 a 70
A delta	— Aferencias cutáneas (temperatura y dolor rápido)	3	12 a 30
B	— Preganglionar simpático	3	3 a 15
C	— Aferencia cutánea (dolor lento) — Postganglionar	1 y amielínicas	1 a 5

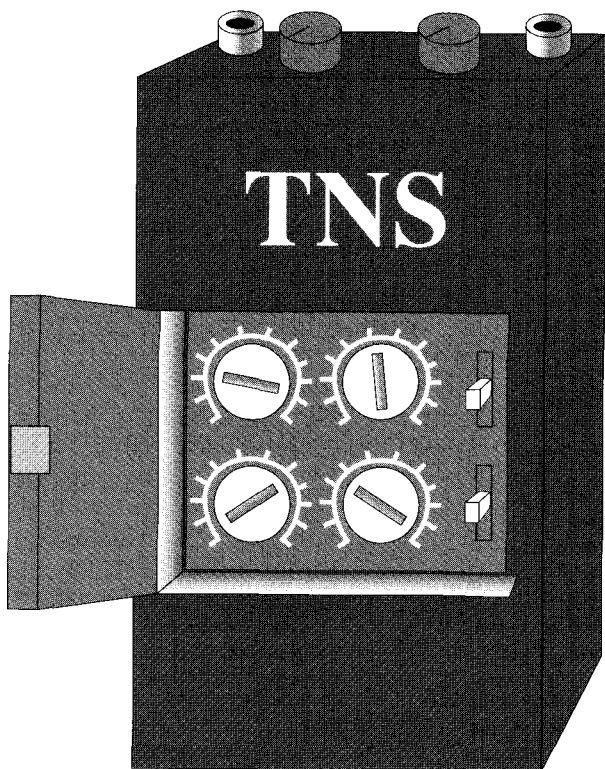


Figura VIII.4.

Posteriores generaciones muestran más cualidades: dos canales, frecuencias de 1 a 250 Hz, regulación de anchura de pulso, aplicación en modo constante o en pequeñas ráfagas o trenes (Fig. VIII. 4).

Son curiosas las polémicas en las que, en ocasiones, nos vemos envueltos los fisioterapeutas referidas a los TENS (TENS y EMS) auténticos y falsos. Es conveniente no olvidar que los pequeños estimuladores portátiles a los que estamos habituados son réplicas de los equipos de electropuntura de oriente.

### Diferencias entre TENS y EMS

Está extendida la idea de que el TENS únicamente se aplica para analgesia y el EMS solamente para fortalecimiento muscular. El EMS

es muy aprovechable como instrumento de analgesia. Hagamos un rápido resumen de sus cualidades y diferencias.

El TENS es un pequeño aparato generador de pulsos eléctricos destinado a conseguir analgesia. El EMS es otro pequeño aparato destinado al trabajo muscular en conjuntos neuromúsculo normales.

El TENS está basado en sus precursores estimuladores chinos y portátiles para aplicación de electropuntura y, a la vez, para búsqueda de puntos. Los TENS no poseen la cualidad de buscapuntos (algunos, sí) ni tampoco siguen totalmente las características de las corrientes generadas en los estimuladores de electropuntura. Los electropuntadores no solamente sirven para conectar a las agujas; también se pueden aplicar a electrodos estándar.

El EMS, de posterior aparición al TENS y, como se dice más arriba, se destina a la electroestimulación neuromuscular siempre que no estemos ante procesos patológicos o, si existen, que sean muy moderados (Fig. VIII. 5, Tabla VIII. 3).

Pero, a no ser que los ENS y EMS no superen una adecuada calidad y posibilidades de regular parámetros, la mejor opción será un buen equipo de electroestimulación de baja frecuencia convencional que nos admita seleccionar el impulso que deseemos y el reposo que nos parezca más conveniente, lo cual nos permitirá disponer de multitud de posibilidades o resolver cualquier dificultad que se nos presente (Fig. VIII. 6).

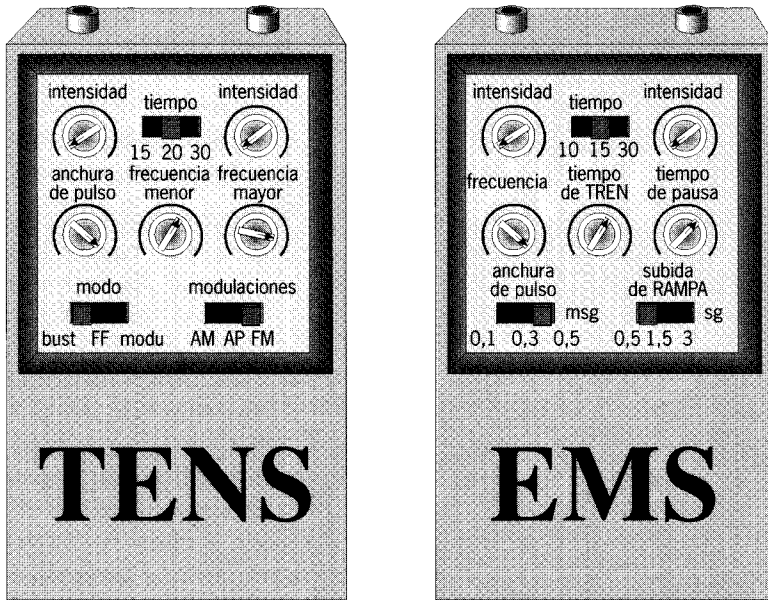


Figura VIII.5.

TABLA VIII. 3  
CARACTERÍSTICAS Y DIFERENCIAS

TENS	EMS
Destinado a analgesia	Destinado a trabajo muscular
Suelen tener 2 salidas	Suelen tener 2 salidas
Intensidad hasta 50 mA	Intensidad hasta 80 ó 100 mA
Modos de trabajo en burst, (FF) frecuencia fija y (M) modulaciones (algunos ofrecen una opción de trenes)	Modos de trabajo en trenes (algunos ofrecen la posibilidad de frecuencia fija [FF])
Frecuencia regulable entre 1 a 150 ó 200 Hz	Frecuencia regulable entre 10 a 100 Hz (algunos ofrecen frecuencia por debajo de 10 Hz)
El tiempo de sesión tiende a ser relativamente largo (15, 20, 30 minutos)	El tiempo de sesión tiende a ser más corto que en el TENS (10, 15, 20 minutos)
En modulaciones pueden modularse la anchura de pulso (AP), modulaciones en amplitud (AM), y modulaciones de frecuencia (MF)	No tiene modulaciones (algunos más evolucionados sí ofrecen esta opción)
En las modulaciones de frecuencia, debiéramos tener la opción de ajustar sus límites con FRECUENCIA MENOR y FRECUENCIA MAYOR	

**TABLA VIII. 3**  
*(Continuación)*

TENS	EMS
Algunos (raros), ofrecen posibilidad de trenes	Los trenes son regulables entre 1 y 30 segundos. Las pausas entre trenes son regulables desde 1 a 60 segundos
	La RAMPA de subida del tren debe regularse para que se establezca más o menos bruscamente. Unos ajustan el tiempo de subida y otros un porcentaje del tiempo ocupado por el tren
Los BURST son pequeñas ráfagas, 2 por segundo, que pueden utilizarse para vibración muscular. Algunos permiten regular la frecuencia de BURST entre 1 y 10 Hz	Es muy interesante que los ENS posean frecuencia fija muy baja (entre 1 y 10 Hz) para aplicar vibraciones musculares
Suelen alimentarse con una pila de 9 Volt	Suelen alimentarse con una o dos pilas de 9 Volt
	Algunos ofrecen la opción de que los trenes surjan simultáneamente por ambas salidas o que se alternen para trabajar los antagonistas cuando los agonistas se relajan
Trabajan en voltaje constante (VC)	Trabajan en voltaje constante (VC)
Las formas de pulso pretenden ser monofásicas cuadrangulares con algún pico negativo procedente de las deformaciones propias de los transformadores de salida	Las formas de pulso pretenden ser monofásicas cuadrangulares, con algún pico negativo procedente de las deformaciones propias de los transformadores de salida. Algunos poseen ondas cuadrangulares bifásicas digitales. En general, los EMS cuidan más las ondas de salida
Los electrodos suelen ser pequeños e iguales	Es importante que el tamaño de electrodos sea variado para combinarlos y adaptarlos a los diferentes músculos y métodos de estimulación
Los electrodos se sitúan sobre puntos dolorosos o en la forma más adecuada para analgesia. En caso de trenes, buscando la mejor respuesta muscular	Los electrodos se posicionan tratando de provocar la mayor y mejor contracción muscular. En caso de frecuencia fija (FF), el objetivo será la analgesia como en TENS

**TABLA VIII. 3**  
(Continuación)

TENS	EMS
Los TENS suelen ser más baratos	Los EMS se venden comparativamente más caros
Con el TENS no se debe superar las respuestas motoras, salvo cuando se genere alternancia en el trabajo muscular	Con el EMS se supera el umbral motor para tonificar y potenciar musculatura, excepto cuando se aplique frecuencia fija, que solamente debe alcanzar el estímulo sensitivo. En frecuencia fija podemos superar la respuesta motora con vibración muscular cuando la frecuencia oscile entre 1 y 6 Hz
El TENS se destina al estímulo de fibras nerviosas sensitivas	El EMS se destina al estímulo de fibras nerviosas motoras
Tiempo de pulso regulable entre 0,05 a 0,3 ms (pasando por toda la gama)	Tiempo de pulso regulable entre 0,1 a 0,75 ms (dos o tres opciones)

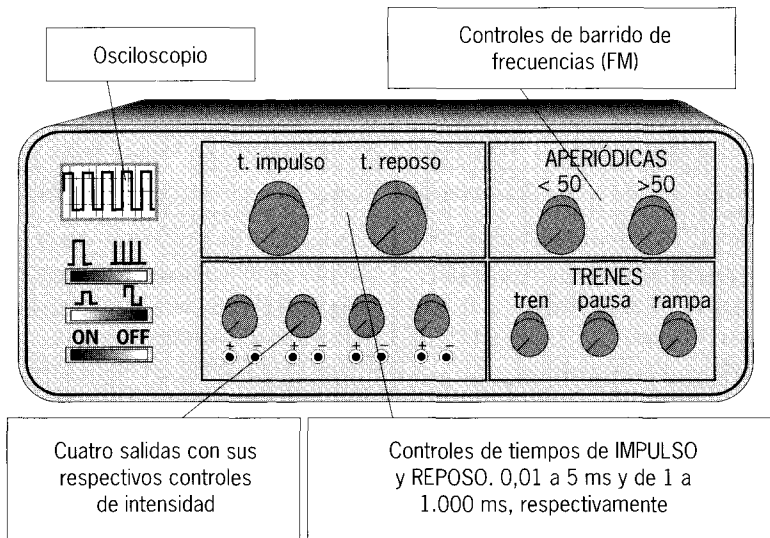


Figura VIII.6.

**Corrientes para la TENSM (estimulador nervioso sensitivo y motor)**

Las características fundamentales de dichas corrientes consisten en:

- *Impulsos cuadrangulares* (aunque también las hallaremos triangulares, sinusoidales, moduladas en amplitud o bipolares, etcétera).
- *Regulador de tiempo de impulsos.*

- *Regulador de tiempo de reposos.*
- *Frecuencia regulable o en barrido* (moduladas en frecuencia o aperiódicas).
- *Trenes de impulsos* con su regulador de tiempo de tren y tiempo de pausa.
- *Rampa en los trenes de impulsos* con su regulador de tiempo de ascenso del tren o porcentaje de ascenso.
- *Varias salidas* con sus reguladores de intensidad independientes para permitir aplicaciones diversas, buscando métodos distintos simultáneamente en el mismo paciente. Es muy importante que los equipos para estos menesteres dispongan de la posibilidad de trabajo alternativo de unos canales con respecto a los otros. Por ejemplo, cuando trabajan los impares, descansan los pares y viceversa.

Es frecuente, en los últimos tiempos, encontrar en el mercado equipos digitales que actúan tanto de TENS como de EMS, equipos que poseen varias salidas y ofrecen gran cantidad de programas diseñados de fábrica. Analizando estos programas, muchos de ellos no sirven para lo que se anuncia; otros presentan excesivas cautelas eléctricas; otras veces se basan en escuelas con las que no se tiene por qué estar de acuerdo, etcétera.

Estos equipos han salido al mercado dirigidos al gran público y bastante limitados al uso profesional. El profesional debe fijarse en que algunos programas permitan la programación personalizada para cubrir sus propios objetivos.

## IMPULSO

Los impulsos suelen ser:

- de corta duración;
- muy excitantes o estimulantes de las fibras nerviosas;
- de forma cuadrangular (monopolares o bipolares);
- de voltajes considerables y
- adecuadamente separados entre sí.

Los tiempos habitualmente empleados cubren márgenes desde 0,01 a 5 ms, centrándose la mayoría de los aparatos modernos entre 0,5 a 2 ms, mientras que en los antiguos, por razones técnicas, los tiempos eran más largos y triangulares.

La forma que se considera más adecuada para estos impulsos es, cuando menos, la de subida brusca, típica de la cuadrangular; esto es: estímulos que sometan a cambios repentinos, cortos y rápidos a las terminaciones nerviosas sensitivas (con mayor capacidad de despolarización de membrana). Los pulsos alternos pueden generarse de las dos formas que se aprecian en la figura VIII. 7.

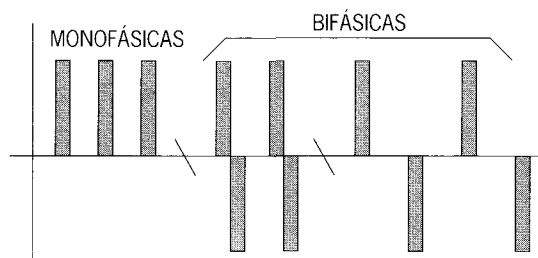


Figura VIII.7.

Todos estos equipos se basan en la estimulación de alto voltaje. Los parámetros eléctricos más notables de los impulsos se caracterizan por voltajes que pueden llegar hasta 200 ó 300 voltios, pero de intensidad muy baja. Propiedad que los hace muy irritantes, poco peligrosos; se puede conseguir en pequeños aparatos alimentados con una pila y un transformador de bobinas en la salida.

### FRECUENCIA

La banda de frecuencias utilizadas para este tipo de corrientes oscila desde 1 hasta 250 Hz. Los primeros estimuladores transcutáneos de baterías se construyeron para generar una banda regulable de 1 a 100 Hz. Pero, en la actualidad, llegan a frecuencias de 250 Hz o incluso más, sobre todo, si están diseñados contando con la técnica de saturación nerviosa; y en este caso, dichos estimuladores pueden alcanzar varios miles de Hz.

Cuando nos veamos obligados a saber la frecuencia con la que trabajamos, no podemos seguir la fórmula de la velocidad de la luz. En su lugar, tendremos que aplicar la del *período*. La razón reside en que los impulsos y los reposos entre impulsos no son semejantes entre sí, más bien al contrario, normalmente serán más largos los reposos que los impulsos (Fig. VIII. 8).

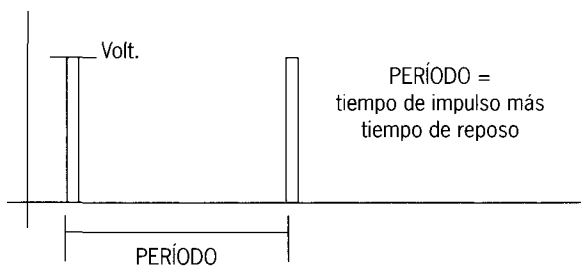


Figura VIII.8.

### REPOSOS

Al tener que emplear impulsos de corta duración (alrededor de 1 ms como media, semejantes a los impulsos nerviosos orgánicos) si los reposos fuesen también cortos, el tiempo de período sería muy corto, dando frecuencias por encima de los márgenes que se consideran adecuados a la fisiología.

Es por ello por lo que debemos separar los impulsos lo bastante como para que su frecuencia nos cubra los márgenes adecuados con el mando regulador correspondiente, haciendo más o menos largos los reposos (sin influir en el tiempo de impulso, a no ser que también queramos regular el impulso y el aparato nos lo permita).

Para calcular la frecuencia, los tiempos de impulsos o reposos, tenemos que acudir a la fórmula del *período* o tiempo ocupado por un impulso más el reposo consecutivo, hasta el punto de inicio del siguiente impulso (Figs. VIII. 8 y 9).

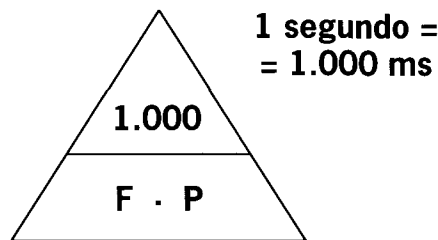


Figura VIII.9.

Veamos un par de ejemplos:

- 1) Diseñamos en el electroestimulador una corriente formada por impulsos de 0,5 ms y reposos 10 ms ¿qué frecuencia tiene dicha composición?

El período está formado por  $0,5 + 10 \text{ ms} = 10,5 \text{ ms}$  de *período*.

Si queremos saber el número de impulsos contenidos en un segundo, haremos:

$$\text{frecuencia en Hz} = \frac{1 \text{ sg}}{\text{período}} = \frac{1.000 \text{ ms}}{10,5 \text{ ms}} = 95,23 \text{ Hz}$$

- 2) Queremos construir una corriente de 40 Hz por creer que será la frecuencia más adecuada para tratar el dolor que se nos presenta. Si hemos decidido que los impulsos sean de 1 ms ¿qué tiempo debemos dar al reposo?

La incógnita se halla en el *período*, formado por la suma del impulso + el reposo. Entonces, formulamos:

$$\text{período} = \frac{1 \text{ sg}}{F} = \frac{1.000 \text{ ms}}{40 \text{ Hz}} = 25 \text{ ms}$$

Pero 25 ms son el tiempo de impulso más el tiempo de reposo, como ya habíamos decidido que el impulso es 1 ms, el reposo será de:

$$25 \text{ ms de período} - 1 \text{ ms de impulso} = 24 \text{ ms de reposo}$$

Con estos dos ejemplos nos volvemos a dar cuenta de que, tal vez, el aparato ideal para este tipo de terapia fuera aquel que nos permita regular la duración del impulso, la duración del reposo, la forma del impulso y la posibilidad de hacer barridos y trenes dentro de los márgenes deseados, etc. (ver Figs. VIII. 6 y 10).

## TRENES

Los trenes de los equipos de estimulación transcutánea destinados para analgesia no deben ser tan largos como los de tonificación o potenciación. Pues trenes largos provocan exceso de trabajo y exceso de energía que, normalmente, no se halla disponible en los casos de dolor o contractura muscular.

La duración del tren debe estar comprendida entre 1 a 7 u 8 segundos y las pausas entre trenes también serán de 1 a 10 segundos (Fig. VIII. 10).

Si buscamos el efecto *esponja* o bombeo circulatorio — exprimir el sistema circulatorio en la contracción y permitir el llenado en la relajación —, tal vez la cadencia de 1:1 (1 segundo de contracción, 1 segundo de relajación) sea muy rápida y se requieran relaciones de 2:3, 3:3 ó 6:10, dependiendo de la capacidad muscular en cada paciente.

Los trenes se pueden usar también sin que superen el umbral motor, buscando solamente el estímulo sensitivo con el fin de introducir cambios en la sensación recibida por parte del paciente para evitar el que se acostumbren (no confundir con acomodación de membrana) a estímulos mantenidos y monótonos; para ello, los trenes se ajustarán al máximo tiempo y las pausas al mínimo.



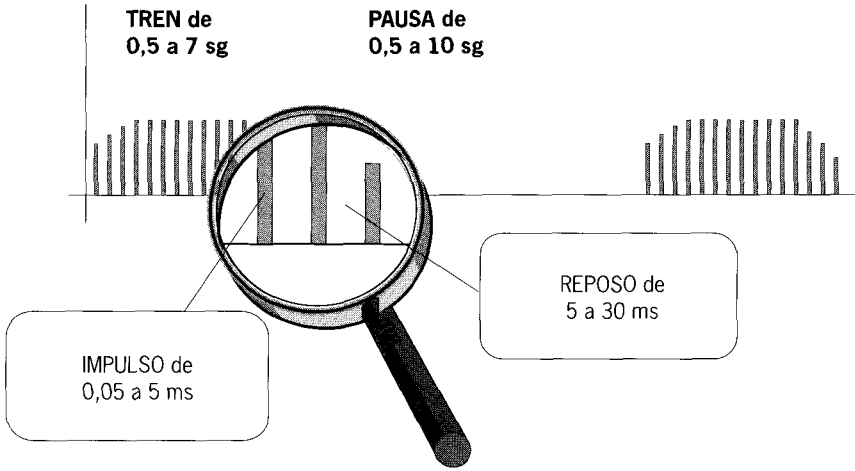


Figura VIII.10.

Si los trenes elegidos son cortos y poco intensos, las rampas de ascenso podrán regularse con subida brusca. Pero si los trenes son más largos e intensos con importante respuesta motora, deberán regularse con rampas de ascenso progresivo en un 10 ó 20%, para evitar daños musculares. El capítulo XI se dedica extensamente a la terapia con trenes.

### APERIÓDICAS O FM

Cuando aplicamos una corriente con determinada frecuencia, tiempo de impulsos y reposos, pero de forma *mantenida durante la sesión*, el paciente se acostumbra o se acomoda perdiendo el nivel de estímulo eléctrico y la consiguiente eficacia del tratamiento.

Para evitar este fenómeno, distintos autores (Adams, Nemeč, Bernard) han diseñado sistemas que introduzcan cambios o modulaciones en las corrientes. Uno de ellos, muy frecuente, se basa en generar un barrido repetitivo de «ida y vuelta» entre dos frecuencias prefijadas de antemano (Fig. VIII. 11). En los TENS encontraremos diferentes modulaciones.

Además de este efecto producido por la modulación en la frecuencia (FM o MF), buscaríamos la interferencia con los impulsos dolorosos conducidos por el nervio.

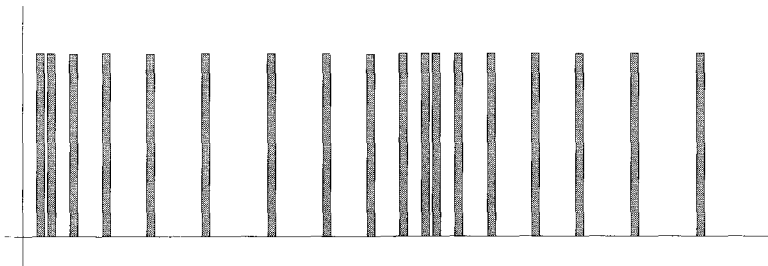


Figura VIII.11.

Si damos como buena la teoría, según la cual los dolores rápidos son los agudos, el margen de frecuencias elegido será de 50 Hz en adelante. Pero si los dolores lentos son los crónicos, ante éstos usaremos barridos entre 1 a 50 Hz. Aunque lo ideal es disponer de dos mandos que nos permitan, a voluntad, regular sendos extremos de barrido.

A modo de sugerencia, los límites de frecuencia podrían ser:

- regulación de límite bajo: de 1 a 50 Hz.
- regulación de límite alto: de 50 a 250 Hz.

Las frecuencias entre 2.000 y 7.000 Hz —pertenecientes a media frecuencia—, sin sufrir modulaciones poseen un fuerte efecto de pseudoanestesia. Esta aplicación se consigue con la portadora de media frecuencia directamente.

## **Duración del tiempo de analgesia**

Al conseguir resultados positivos, el tiempo de analgesia o duración del efecto varía de unos casos a otros, dependiendo fundamentalmente del tipo de dolor y la causa que lo origina.

Un problema importante en esta técnica se nos plantea cuando en muchas ocasiones nos sentimos defraudados al no obtener resultados satisfactorios. Tal vez por:

- no trabajar con un objetivo de tratamiento y exploración previa;
- por falta de dominio de la técnica por parte del fisioterapeuta;
- por dudar de la táctica a emplear;
- por no saber la velocidad o frecuencias a que es conducido el dolor o elegir frecuencias inadecuadas en el aplicador;
- por no tener claro el tipo y origen del dolor;
- por colocación inadecuada de los electrodos;
- por no aplicar la polaridad adecuada;
- por falta de confianza o tensión emocional del paciente;
- por no conocer la fisiología del sistema nervioso, etcétera.

Multitud de factores que pueden influir en el tratamiento, haciendo que, unas veces, obtenamos resultados espectaculares sin saber las razones y, en otras, fracasos rotundos sin conocer tampoco el porqué. Esto convierte la técnica en fuente de polémica con grandes detractores y grandes simpatizantes.

Si la irritación es mecánica, morfológica o de agresión permanente, los resultados serán dudosos; en caso de ser positivos, el tiempo de analgesia será normalmente corto. Pues, aunque consigamos eliminar el dolor, con frecuencia al moverse de nuevo el paciente, o al inducir determinado gesto en la zona, reaparecerá la molestia.

En dolores producidos por causas psicósomáticas, irradiaciones, agresiones poco intensas, dolores reumáticos, habiendo diseñado para ellos una buena táctica, podemos obtener resultados bastante buenos con períodos de analgesia de horas.

El tiempo de actuación o período de analgesia puede ir de un instante (hasta que el paciente se mueva), de unas 2 ó 3 horas o, incluso, durante el resto de las horas del día hasta que el organismo se encuentra de nuevo cansado al final de la jornada, volviendo las molestias habituales (situación que, en muchas ocasiones, así la relatan los pacientes).

Algunas veces (aunque pocas) el efecto es definitivo con una sola sesión, normalmente después de haber realizado una buena programación de aplicación, de colocación de electrodos, de corriente elegida, etc. y en dolores generados por agresiones químicas, isquémicas, edemas o inflamación. Situaciones en las que, al eliminar la causa definitivamente, se eliminarán sus respuestas defensivas.

*La duración de las sesiones pueden ir desde 10 minutos diarios o días alternos, hasta bastantes horas todos los días, entregando al paciente el aparato con idea de que se lo autoaplique (previa enseñanza del manejo) en su vida cotidiana cuando le duela o durante unas horas prefijadas, según la estrategia del tratamiento. Ésta fue la filosofía que provocó la aparición de los pequeños estimuladores portables en un bolsillo.*

*Resumiendo a modo de protocolo: si realmente deseamos resultados aceptables, es importante partir de la familiarización y conocimiento del sistema nervioso; saber el comportamiento de las distintas terminaciones nerviosas; qué tipo de mecanorreceptores inhiben el dolor de otros mecanorreceptores; el porqué se manifiestan los dolores en los tendones y fascias cuando el origen suele estar en contracturas musculares no dolorosas; aprender a palpar y discriminar unos dolores de otros; aprender maniobras biomecánicas que pongan de manifiesto los diferentes dolores; tener claros los distintos orígenes del síntoma dolor (mejor dolores); dominar y entender el manejo y técnica de los equipos; marcarse siempre estrategias y objetivos ante cada caso; tener bien definidas las distintas tácticas de ataque a los dolores; si no se obtienen resultados, buscar nuevas formas, etcétera.*

En pocas palabras, trabajar con la precisión que se nos presupone como técnicos diplomados en el tema.

## **Técnica para la analgesia con estimulación nerviosa transcutánea sensitiva y motora (TENSM)**

Debemos considerar (como se reitera más arriba) que no existe un único dolor, tenemos que pensar y planificar estrategias analgésicas apoyándonos, al menos, en tres tipos de dolores. Los dolores factibles de aliviar con electroterapia de corrientes variables, proceden de orígenes distintos:

- 1) de origen bioquímico,
- 2) de origen neurálgico y
- 3) de origen mecánico.

Cualquier síntoma de dolor debe ser previamente explorado con pruebas biomecánicas, aspecto visual y palpación, para detectar temperatura, morfología y respuestas a la deformación de tejidos; exploraciones dirigidas a concluir y decidir el grupo al que perte-

necesario, en consecuencia, establecer la estrategia más adecuada para intentar eliminarlo (Fig. VIII. 12).

### 1. DOLORES DE ORIGEN BIOQUÍMICO

Dolores procedentes de alteraciones metabólicas y electroquímicas locales por causa de inflamación aguda, desgarros tisulares, roturas vasculares. Es decir, la bioquímica provoca que las terminaciones nerviosas de la zona afectada —tanto exteroceptores, quimiorreceptores o mecanorreceptores— sean atacadas por exceso de sustancias no habituales y necesariamente destinadas a ser eliminadas.

Ante la exploración, son dolores localizados en los distintos planos tisulares y suelen manifestarse al deformar el tejido afectado mediante palpación, por actividad o por estrés del tejido. El aspecto visual suele ir acompañado de enrojecimiento. Con el tacto se detecta irradiación de calor si la inflamación es aguda o empastamiento e induración cuando el proceso es crónico.

Habitualmente, esta clase de dolores, los de origen bioquímico, se superpone al dolor de origen mecánico si es localizado en tejidos relacionados directamente con el aparato loco-

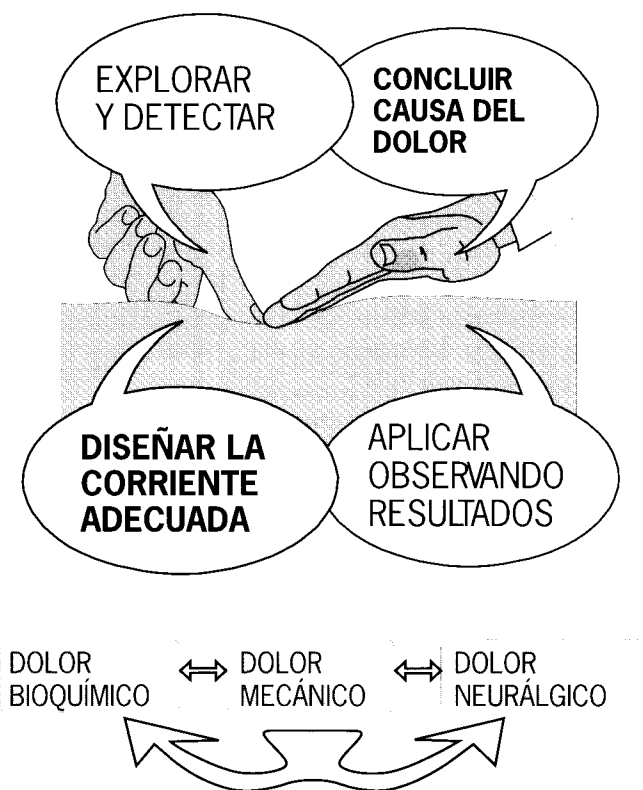


Figura VIII.12.

motor: tendones, fascias, tejido muscular, inserciones osteotendinosas, cápsulas articulares e incluso cartílagos. Las causas mecánicas pueden desencadenar u originar lentamente esta modalidad de dolor químico.

Los métodos más adecuados para eliminarlos con las técnicas de estimulación nerviosa transcutánea se refieren a:

- 1) intento de elevación del umbral sensitivo de las terminaciones nerviosas que detectan el dolor, para dejar al estímulo a nivel infraliminal;
- 2) cambiar la bioquímica de la zona vía corrientes que conserven efecto electroforético y de polaridad eléctrica (efecto galvánico), buscando la frecuencia y anchura de impulso adecuadas al porcentaje galvánico deseado, junto con la mayor intensidad posible sin superar el umbral motor (Fig. VIII. 16). Un electrodo situado directamente sobre el foco doloroso. Polaridad del electrodo correcta, normalmente, es más adecuada la del (-) para procesos crónicos y la del (+) en los agudos. Bajo el electrodo se puede aplicar algún medicamento antiinflamatorio o analgésico, con radicales activos de la misma polaridad que el electrodo a modo de iontoforesis.

**Proceso inflamatorio en el seno del tarso**

Aplicaremos los electrodos localmente (Fig. VIII. 13) preferentemente el (-), pues éste despolariza con mayor eficacia las membranas celulares de las terminaciones nerviosas afectas. La corriente se formará con pulsos monopolares, la frecuencia debe fijarse entre 80 a 150 Hz y anchura de pulso de 250 a 500  $\mu$ s. Aplicación mantenida o constante (Fig. VIII. 14). Aunque se pueden elegir trenes de 5 sg con 1 sg de pausa y rampa del 20% para evitar la acomodación (Fig. VIII. 15). No superar el umbral motor con aplicaciones constantes.

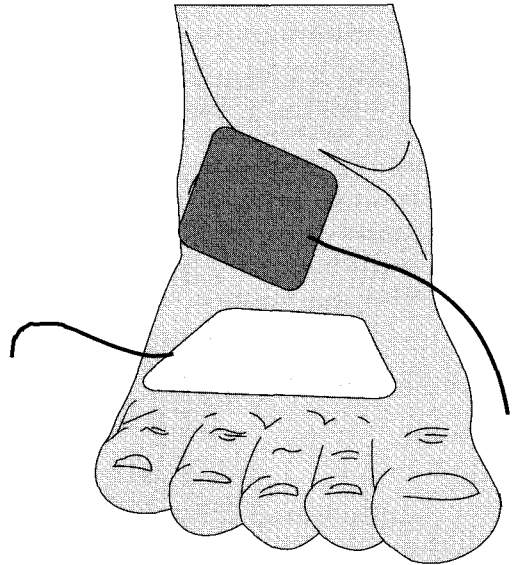


Figura VIII.15.

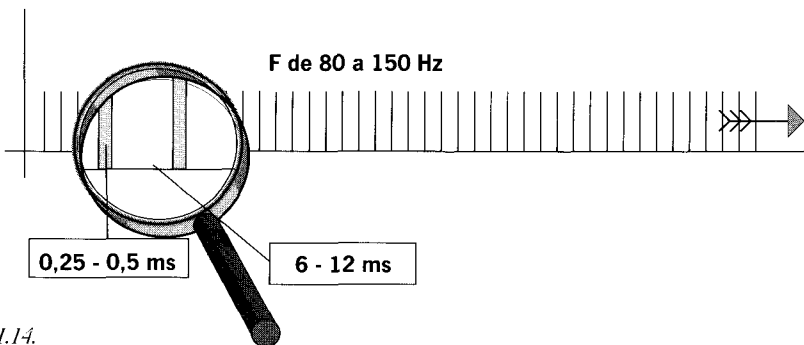


Figura VIII.14.

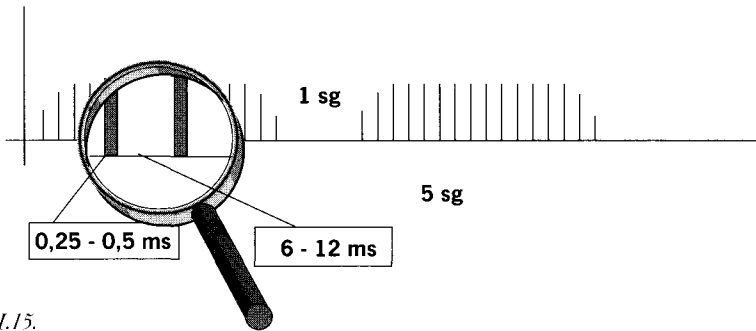


Figura VIII.15.

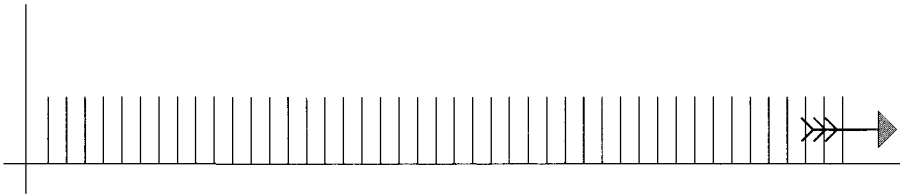


Figura VIII.16.

## 2. DOLORES DE ORIGEN NEURÁLGICO

Cuando una raíz nerviosa es dañada, pinzada o desmielinizada en su trayectoria, refleja en la zona de inervación hormigueos, adormecimiento, dolor e *insuficiencia neurovegetativa, sensitiva y motora*.

Si esta situación afecta principalmente al neurovegetativo, desencadenará dolores metabólicos o bioquímicos (propios del grupo anterior), las llamadas algodistrofias simpático-reflejas. Pero el síntoma más llamativo, a primera vista, es el dolor irradiado, con trayectoria, localización profunda, no se palpa, se manifiesta tanto en la actividad como en el reposo, se acentúa en determinadas posturas y se alivia en otras.

Ante la exploración, se pondrán más de manifiestos los síntomas propios del neurovegetativo sobre los de irradiación. Palpando, se pueden provocar otros dolores propios de los tejidos afectados, pero, en este caso, no sería el dolor irradiado de inicio que refiere el paciente.

El dolor neurálgico agudo (reciente e intenso) puede provocar grandes impotencias musculares de defensa o grandes contracturas de defensa (digamos una ciática o cualquier pinzamiento de raíz nerviosa). Si en estos procesos intentamos relajar las contracturas o aumentar el tono en las hipotonías, agravamos el dolor al mover al paciente después de la sesión. En las contracturas o hipotonías crónicas, el ejercicio, la actividad articular y muscular contribuyen a aliviar los dolores causados por irradiación radicular.

**Tomando como ejemplo una ciática**, la estrategia a seguir puede cifrarse en:

- 1) Colocación de los electrodos a lo largo del trayecto nervioso con corrientes sensitivas (Fig. VIII. 17) (sin respuesta motora), anchura de pulso 1 ms y frecuencias entre 100 y 150 Hz en aplicaciones constantes (Fig. VIII. 18). Cuando el paciente

se acomode, se le aumenta la intensidad, se cambia la frecuencia o se aplica modulación en trenes de 10 sg con 1 sg de pausa y 20% de rampa (Fig. VIII. 19).

El electrodo (+) se sitúa en la zona dolorosa, mientras que el otro (-) se fija en los orígenes del plexo y próximo a la zona de lesión; en trayectos largos se usarán *varios* circuitos. Trataremos de superponer estímulos eléctricos a los del dolor en las fibras lentas de tipo C para interferir sobre los impulsos del dolor y anularlos. Esta teoría de Adams requiere para anulación del dolor de la adecuada selección de la frecuencia. Basándose en esta teoría, se diseñan corrientes haciendo barridos de frecuencia, buscando que en algunos momentos se consiga totalmente el máximo de efecto anulativo. Las frecuencias de barrido para este tipo de aplicación suelen ser bajas (10 a 60 Hz).

- 2) Si conseguimos que las fibras *rápidas* tipo A (exteroceptivas del nervio que inerva la zona) transmitan, vía aferente y rápida, impulsos eléctricos, podemos bloquear o inhibir la conducción de los estímulos dolorosos en la formación reticular medular (teoría de la puerta o «gate control») (Fig. VIII. 20). Para ello, preseleccionaremos frecuencias por encima de los 100 Hz, 500  $\mu$ s de anchura de impulso, aplicación constante y que no superen el umbral motor. Colocación de electrodos, semejante a la anterior (Fig. VIII. 21).

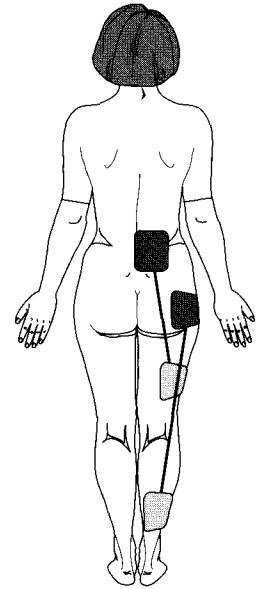


Figura VIII.17.

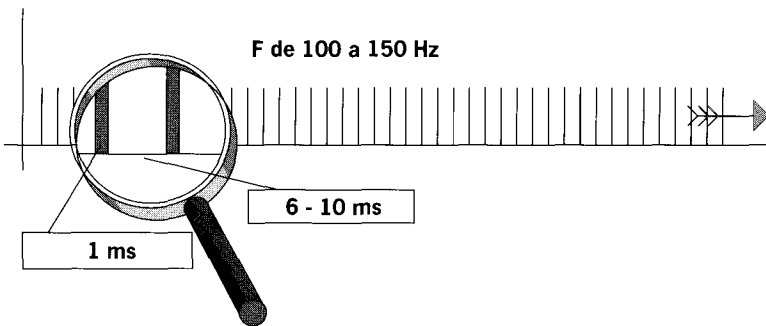


Figura VIII.18.

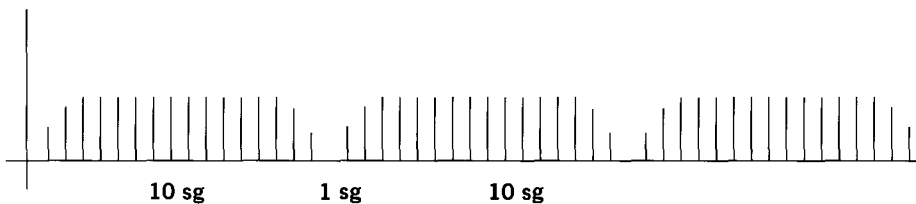


Figura VIII.19.

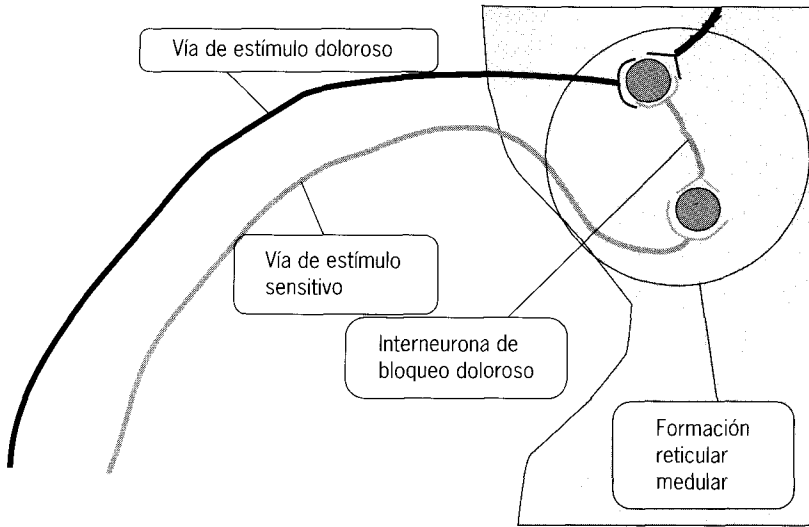


Figura VIII.20.

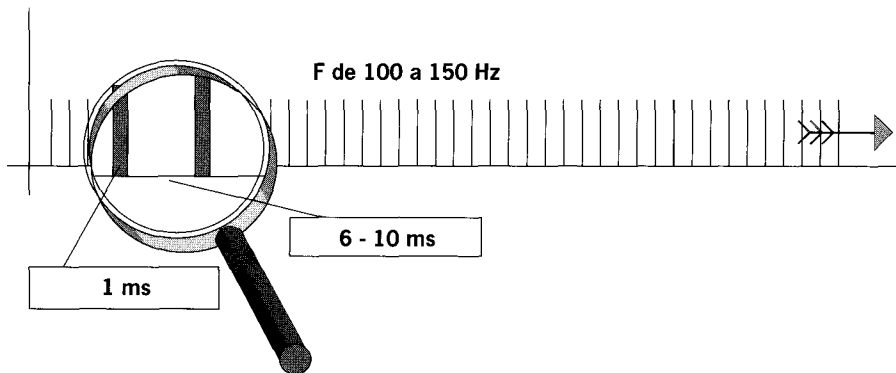


Figura VIII.21.

3) Los procesos de pinzamientos nerviosos, desmielinizaciones axónicas o atrapamiento de raíces cuando los paquetes vasculonerviosos transcurren a través de tejidos indurados, fibróticos y edematosos, terminan por provocar alteraciones neurológicas en músculos inervados por dicho paquete:

- influyendo en la inervación neurovegetativa deficiente;
- en el tono muscular;
- en la atrofia muscular;
- en el bombeo de líquidos intramusculares;
- alteraciones posturales;
- contracturas compensadoras de otros músculos, etcétera.



Todo ello desencadena que los propioceptores (mejor mecanorreceptores) localizados en los husos neuromusculares, en fascias, aponeurosis, tendones y cápsulas articulares se encuentren hiperexcitados, tanto que transmiten dolor en lugar de propiocepción.

Todos sabemos por experiencia que la actividad y ejercicio eliminan este tipo de dolores (**salvo que agredamos directamente a la zona de lesión con el movimiento o desplazamiento articular**). Por lo tanto, es conveniente acudir a corrientes que consigan contracciones musculares *relativamente intensas*, de amplias zonas musculares, mantenidas unos segundos y seguidas de descanso para evitar la fatiga (Fig. VIII. 22).

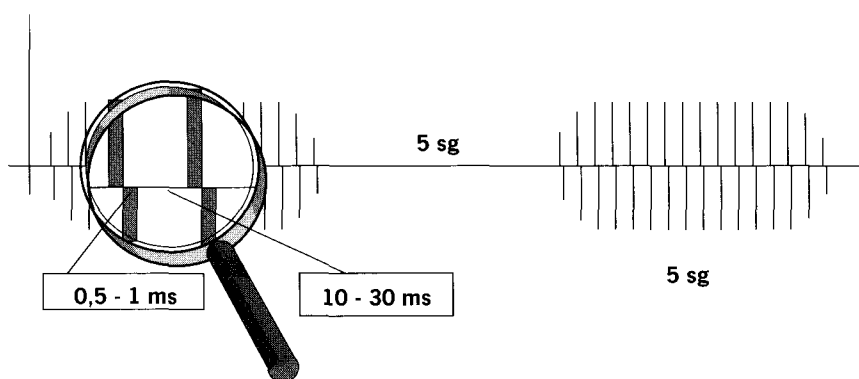


Figura VIII.22.

Las contracciones musculares mantenidas durante varios segundos regularizan el tono muscular, movilizan las articulaciones cercanas y afectadas, mejoran la renovación de líquidos contenidos en su interior, estimulan a los mecanorreceptores tendinosos y capsulares, rompen círculos viciosos del servocontrol del tono muscular (circuito alfa gamma).

Esta táctica conduce a la aplicación de trenes de 5 sg y pausas de 5 sg con rampa del 10%. Tiempos de pulso entre 500 a 1.000  $\mu$ s y frecuencias que oscilen entre 25 y 100 Hz, dependiendo si trabajamos con musculatura rápida o lenta, o músculos sanos o ligeramente afectados por cierto nivel de denervación. Si intentamos actuar en zonas amplias, deberemos aplicar varios circuitos o canales.

Imaginemos dolores generalizados en toda la espalda (dorsalgia) por causa de los típicos procesos degenerativos que cursan con malposiciones vertebrales, pinzamientos de las distintas raíces nerviosas, avance de las raíces por tejidos edematosos e inflamados, atrofias musculares, contracturas de defensa de otros, estasis venoso y linfático, procesos fibróticos de atrapamiento, etcétera.

Podemos atacar este conflicto aplicando los varios circuitos (Fig. VIII. 23), trabajándolos alternativamente. De esta forma, contraeremos, alternando, las grandes masas musculares de un lado, mientras el contrario descansa empleando intensidad moderada pero clara, a fin de:

- movilizar las vértebras;
- liberar cartílagos excesivamente comprimidos;
- evacuar líquidos acumulados en el espacio intramuscular;
- estimular los mecanorreceptores;
- relajar contracturas;
- descontactar vértebras en malposición y liberar las raíces nerviosas de sus atrapamientos procedentes de pinzamientos óseos o de tejidos blandos.

### 3. DOLOR DE ORIGEN MECÁNICO

Los párrafos anteriores ya nos introducen en los conceptos que nos aproximan a los orígenes de este tipo de dolores, de forma que:

- cuando un tejido se halla sometido a **compresión excesiva** (pongamos un cartílago) o
- cuando es sometido a **exceso de elongación mantenida** (digamos un tendón) y
- cuando es **aplastado de forma permanente** (podríamos referirnos a un paquete vasculonervioso por una contractura duradera de los músculos que lo rodean).

Llegará un momento en el que los mecanorreceptores informarán de agresión en lugar de propiocepción normal, la cual, por el momento, no es de dolor, pero desencadenará respuestas neurovegetativas de inflamación moderada, proliferación de macrófagos y fibrina y, en consecuencia, termina por aparecer una red de tejido conjuntivo que engloba la zona atrapándola, constriñéndola e impidiendo el buen riego circulatorio.

Ante la exploración visual no se aprecian signos que indiquen el síntoma de dolor. Palpando podemos detectar cierta irradiación de calor, los tejidos suelen aparecer engrosados, indurados y, más o menos, edematosos. Los tejidos duelen a la deformación y al someterlos a tensiones estresantes, para disminuir o desaparecer con el reposo.

Dependiendo de su localización, deberemos realizar pruebas funcionales y biomecánicas muy específicas que sometan a estrés justo la zona deseada, o acceder mediante la palpación precisa a las mismas zonas para su deformación o compresión, apareciendo respuesta de dolor.

Dependiendo de su localización, deberemos realizar pruebas funcionales y biomecánicas muy específicas que sometan a estrés justo la zona deseada, o acceder mediante la palpación precisa a las mismas zonas para su deformación o compresión, apareciendo respuesta de dolor.

Es de vital importancia discriminar por palpación si el dolor de tejidos relacionados con el sistema motor es debido a puros procesos degenerativos inflamatorios, edema y fibrosis, o encontramos soluciones de continuidad en los tejidos por desgarros, roturas, arrancamientos, calcificaciones. Situaciones que nos harán pensar en alteraciones morfológicas de los tejidos y, por ende, cambio radical de la estrategia antiálgica.

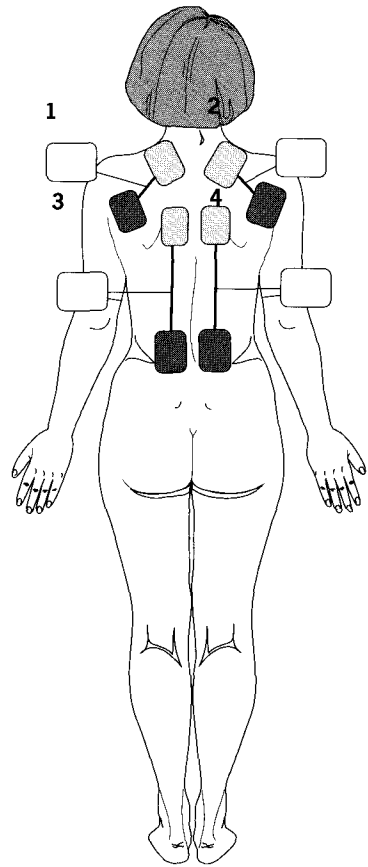


Figura VIII.25.

Cuando palpamos tendones doloridos, indurados, inserciones osteotendinosas dolorosas, expansiones aponeuróticas teno-capsulares dolorosas, cartílagos articulares dolorosos a la presión, etc., si seguimos los trayectos tendinosos hacia su cuerpo muscular, nos encontraremos con músculos contracturados y dolorosos por su hipertensión mecánica. **Cuando relajemos el músculo, reduciremos la sintomatología que éste genera a distancia.**

Concluyendo, ante una inflamación crónica, con edema, proliferación de colágeno e insuficiencia muscular, las terminaciones nerviosas se manifiestan hipersensibles a la deformación de los tejidos. **Cuando los mecanorreceptores transmiten dolor en lugar de propiocepción, estamos hablando de dolor mecánico.**

El dolor mecánico y el bioquímico, como se dice más arriba, se superponen, pues una condición suele conducir a la otra aunque las causas sean distintas. **Como los orígenes de estos dolores suelen ser evolutivos y por procesos degenerativos lentos, los mejores métodos para su eliminación se obtendrán por vía de respuesta motora en lugar de respuestas sensitivas o electroquímicas.**

Podemos planificar distintas estrategias (mediante respuestas motoras) dependiendo de la localización del dolor, de su contraindicación por la alteración morfológica de los tejidos (roturas), si las movilizaciones locales aumentan compresiones radiculares conducentes a la agravación del problema, no eliminar contracturas de defensa antiálgicas, etc. Salvo éstas (y alguna otra) precauciones lógicas, planificaríamos como sigue:

**Tendinitis aquilea**

Supongamos una tendinitis en el Aquiles y su inserción en el calcáneo (Fig. VIII. 24). Si hemos concluido por la exploración que el dolor es de origen mecánico, los electrodos serían situados en las masas musculares correspondientes al tendón para aplicarles vibración muscular por contracciones repetitivas.

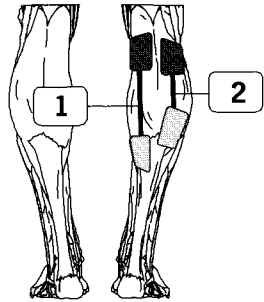


Figura VIII.24.

- 1) Si los dolores se sitúan en tendones, ligamentos, cápsulas articulares, aponeurosis de músculos contracturados y agotados: podemos aplicar sobre los vientres musculares pequeñas ráfagas o trenes de 1 ó 2 veces por segundo, para que trasmitan su fuerza a las zonas afectadas o, también, pulsos continuados a frecuencia de 1 a 6 Hz, a fin de someter el músculo a vibración que le induzca relajación, regularización de su tono e, inmediatamente, reducción de los dolores locales (Figs. VIII. 25 y 26).

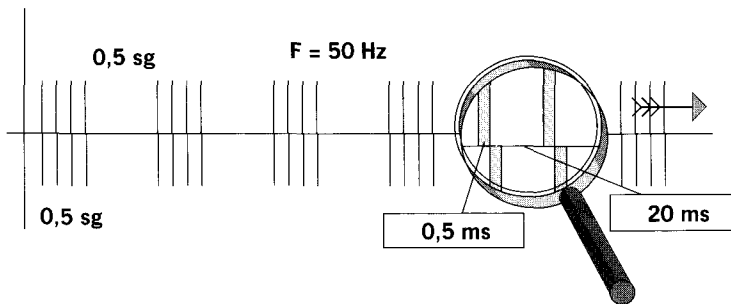


Figura VIII.25.

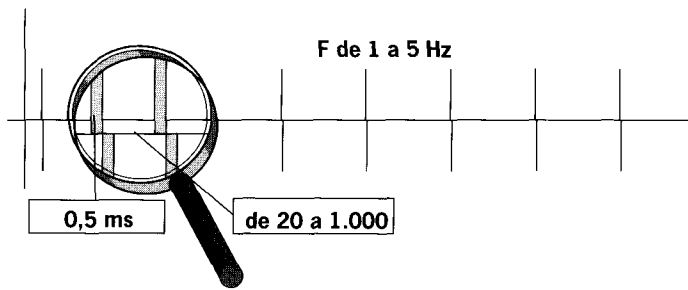


Figura VIII.26.

Para aplicar las pequeñas ráfagas de la figura VIII. 25 regularemos el estimulador con pulsos bipolares de 0,5 ms y reposos de 10 a 20 ms (50 a 100 Hz), agrupados en trenes de 0,5 sg y pausas de 0,5 sg con rampa del 0% en modalidad de trabajo alternativo. Luego, situaremos un canal par en un gemelo y un canal impar en el otro gemelo. Esto relajaría al tríceps y reduciría tensión del tendón y su inserción.

Después de haber conseguido cierto grado de relajación o «calentamiento», podemos aplicar trenes que generen contracciones más intensas y largas.

Transcurridos unos 10 minutos, regulamos los trenes a 6 sg y las pausas a 6 sg con rampa del 10% (Fig. VIII. 27) para someter al músculo a la regularización de su tono, mejoras nutritivas por bombeo circulatorio y elasticidad al tendón, así como estímulo de los mecanorreceptores tendinosos y fasciales.

Es importante una especial precaución cuando se supera el umbral motor del tríceps sural, causando contracciones de cierta intensidad, pues éste tiende con gran facilidad a los calambres y grandes contracturas dolorosas para el paciente junto con posibles daños, situación que requiere control rápido, bien enseñando a eliminar el calambre al propio paciente o que el terapeuta esté alerta y raudo para solventar el mal rato del mismo.

- 2) Si los dolores se encuentran más en el interior muscular, se debe a la intoxicación catabólica del tejido muscular por falta de uso. Para reducirlo, someteremos al músculo a *intensas* contracciones mantenidas durante unos 7 sg con pausas de 7 a 10 sg que permitan la recuperación energética y circulatoria.

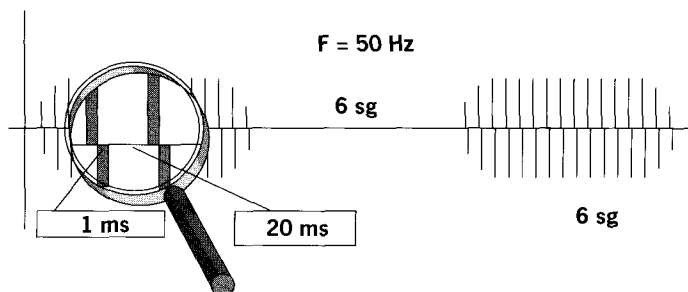


Figura VIII.27.

Las intensas contracciones regularizarán el tono muscular, el mecanismo de servocontrol muscular y bombearán los viejos líquidos acumulados en su interior para renovar nutrientes y eliminar residuos metabólicos.

### Dorsalgia

Supongamos que nos hallamos ante dolores generalizados de espalda y éstos proceden de su musculatura (Fig. VIII. 28), pues las contracturas prolongadas provocan estasis circulatorio sanguíneo o linfático y déficit en la renovación de los líquidos intramusculares, con el consiguiente perjuicio en la nutrición y eliminación de residuos metabólicos (catabolitos).

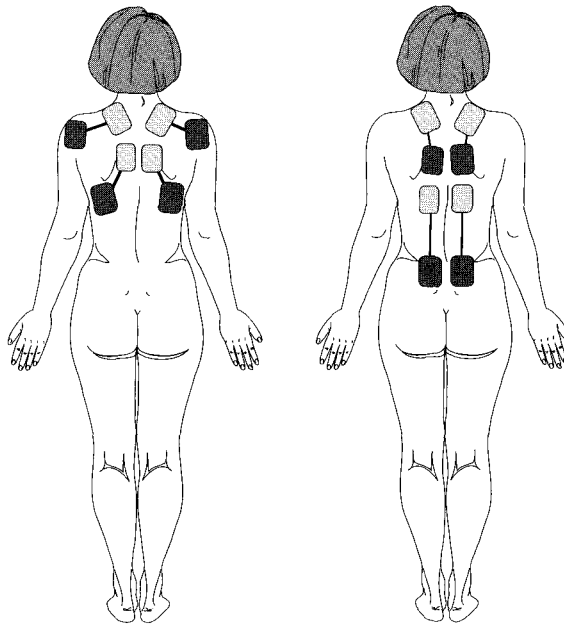


Figura VIII.28.

Buscando la activación circulatoria, programaremos el electroestimulador para generar en los propios músculos contracciones de 5 sg exprimiéndolos y descansos de 6 a 10 sg que permitan la reentrada circulatoria. Dispondremos los pulsos con valores próximos a 1 ms (1.000  $\mu$ s) y los reposos de 15 a 20 ms (50 a 65 Hz para musculatura de la espalda). La entrada del tren no debe ser excesivamente brusca: con rampa de un 10 ó 20%. Las intensidades, importantes, pero que eviten la fatiga y los electrodos, en aplicaciones multipolares.

- Tanto por vía de vibración muscular como por contracciones más largas e intensas, provocaremos estiramientos y pequeñas movilizaciones articulares que:
  - renovarán el trofismo articular (movilización del líquido sinovial);
  - masajearán los tejidos articulares por deformación de éstos (elastificación de las cápsulas y sinoviales);

- aplicarán presiones alternativas sobre los cartílagos articulares (su bombeo y su mejora de nutrición);
- inducirán estímulos propioceptivos sobre los mecanorreceptores articulares y tendinosos (conduciendo a la analgesia de otros dolores).

La teoría de inhibición del dolor al activar determinados mecanorreceptores es muy interesante y eficaz, pues de los cuatro niveles de mecanorreceptores, cuando estimulamos al menos dos de ellos, éstos inducen inhibición en la conducción del dolor a nivel de formaciones reticulares medulares o, lo que es igual, provocan la aparición de neurotransmisores que activan determinados circuitos de información e inhiben o eliminan otros (buscar palabras resaltadas con cursiva en la tabla VIII. 1). Es por esto por lo que la actividad motora y de movilidad articular conduce a alivios dolorosos (**pero cuando no existan alteraciones morfológicas de los tejidos como fracturas, esguinces, desgarros musculares, desinserciones, etcétera**).

## Tipos de corrientes usadas habitualmente para TEMS

Corrientes que se han utilizado y diseñado con estos fines (estimuladoras del sistema nervioso sensitivo y no tanto el motor) son las de:

- **Trabert**. Corriente de aplicación continuada formada por impulsos cuadrangulares de 2 ms de impulso, 5 ms de reposo y 142 Hz de frecuencia (Fig. VIII. 29).

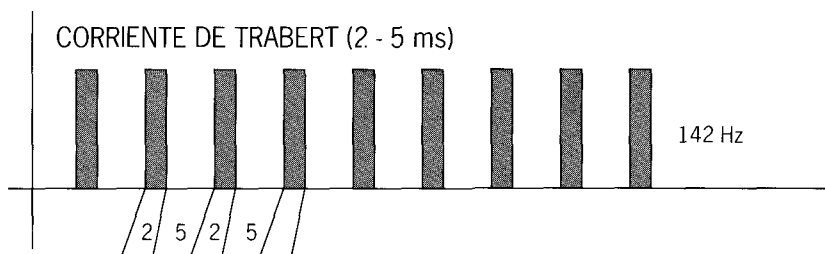


Figura VIII.29.

- **Leduc**. Corriente de aplicación continuada formada por impulsos cuadrangulares de 1 ms de impulso, 10 ms de reposo y 90 Hz de frecuencia (Fig. VIII. 30).

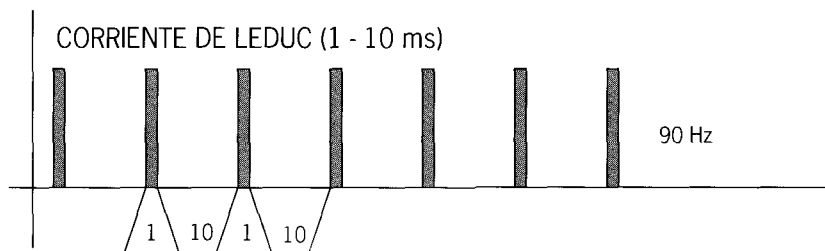


Figura VIII.50.

- **Le Go.** Corriente de aplicación continuada formada por impulsos de subida exponencial y bajada exponencial, con duraciones comprendidas entre 30 a 50 ms, y reposo de 50 a 70 ms, cuyas frecuencias oscilan entre 8 y 12 Hz procedentes de los viejos equipos que generaban sus impulsos por descarga de condensador (Fig. VIII. 31).

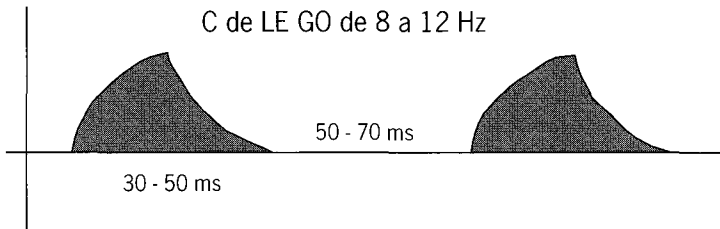


Figura VIII.31.

- **Tiratrón.** Corriente de aplicación continuada formada por impulsos de 5 ms con subida brusca y bajada lenta, 15 ms de reposo y 50 Hz de frecuencia. Se emplearon en su momento, coincidiendo con el diseño y puesta en el mercado del componente electrónico denominado *tiristor*, pero caídas en desuso (Fig. VIII. 32).

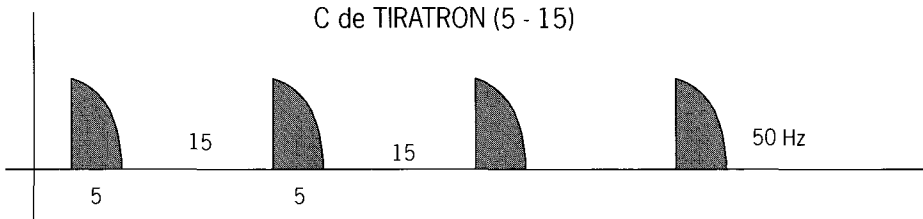


Figura VIII.32.

- **Primeros TNS de baterías.** Corriente de aplicación continuada formada por impulsos cuadrangulares que son deformados por la bobina del transformador de salida (efecto de la inductancia) con una duración media de 1 ms y reposo regulable entre 8 a 1.000 ms, cuya frecuencia se puede fijar entre 1 y 100 Hz. Además, en algunos, es posible la programación de trenes o paquetes de impulsos. Esto si hablamos del TNS de primera generación, pero los últimos se presentan con bastantes variantes de corrientes «más o menos útiles» y varias salidas de aplicación (Fig. VIII. 33).
- **Modernos TENTSM** (equipos para *técnica de estimulación nerviosa transcutánea*) tanto sensitiva como motora. Trabajan con impulsos derivados de una única fase o ambas fases (Fig. VIII. 34). Tiempos de impulso muy cortos, 0,05 a 1 ms (50 a 1.000 microsegundos) y reposos regulables para conseguir frecuencias que oscilen entre 1 a 250 Hz. Estos aparatos no suelen disponer de transformador a la salida, por lo que sus impulsos no sufren la deformación propia de la autoinducción. Asimismo, incluyen la posibilidad de aplicar trenes y barridos de FM.

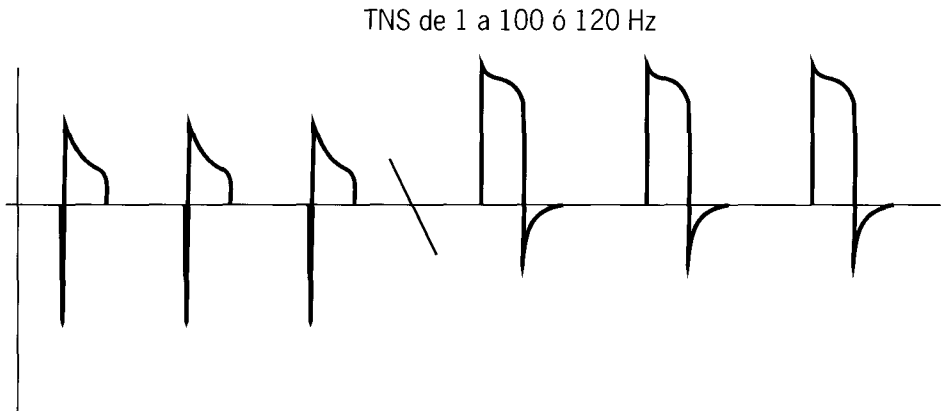


Figura VIII.55.

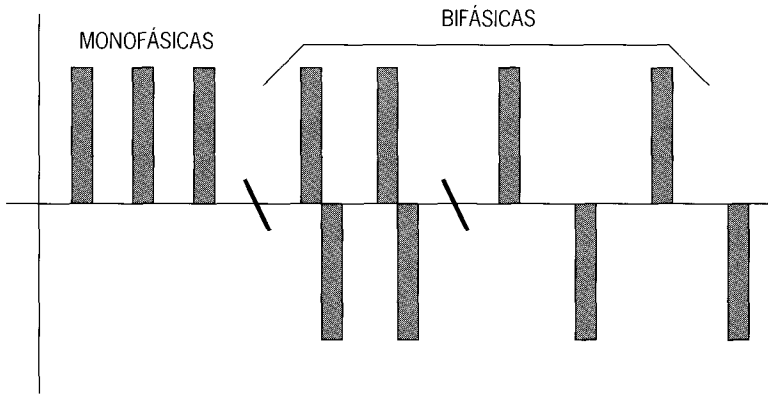


Figura VIII.54.

- **Diadinámicas.** Corriente de aplicación continuada formada por impulsos sinusoidales de 10 ms con polaridad y reposos de 10 ms o 0 ms, por lo que las frecuencias base son de 50 ó 100 Hz, respectivamente (Figs. VIII. 35 y 36). Estas corrientes poseen un importante componente galvánico.
- **Aperiódicas de Adams o FM** (Fig. VIII. 37). Corriente de aplicación continuada formada por impulsos cuadrangulares de 1 ó 2 ms separados por reposos en cons-

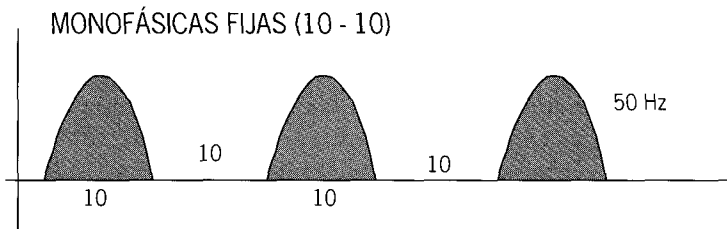


Figura VIII.55.



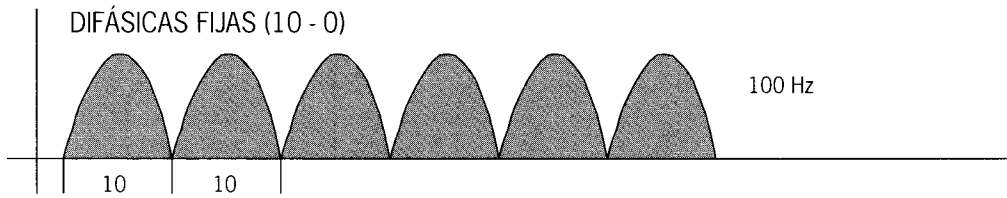


Figura VIII.56.

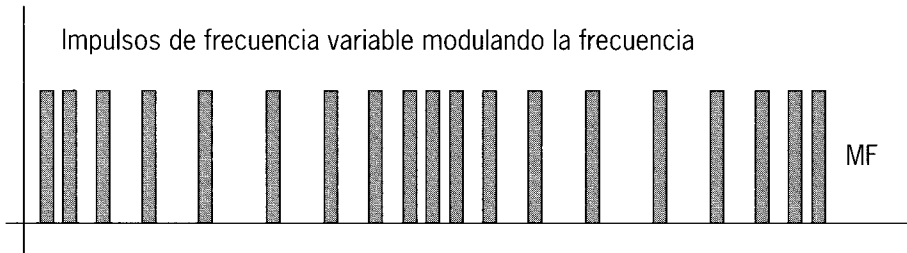


Figura VIII.57.

tante variación de menos a más, seguidos por la vuelta al inicio, para repetir el proceso de nuevo. Resulta una frecuencia variable en barrido ascendente y descendente entre 10 a 120 Hz. Es muy interesante poder fijar los límites o extremos del barrido.

- **Interferenciales.** Corriente de aplicación continuada formada por impulsos de doble onda modulados en amplitud, resultantes de la interferencia dentro del organismo o dentro de dos circuitos. Los impulsos pueden tener forma sinusoidal o cuadrangular, de duración variable, de tiempo de reposo variable y la frecuencia oscila en ascenso y descenso (según el margen elegido), que a título de ejemplo podrían ser: (Fig. VIII. 38)

- 0-100 Hz.
- 0-10 Hz.
- 10-80 Hz.
- 80-100 Hz.
- 100-250 Hz.
- 0-250 Hz.
- en cualquier punto fijo de 0 a 100 ó 250 (según equipo).

- Aplicación de la portadora de interferenciales sin modulación, es decir, con modulación cero (0 Hz).

Para finalizar, diremos que en diversidad de aparatos, buscando cumplir estas funciones, las corrientes suministradas entran dentro de los parámetros marcados y otras veces no los cumplen, pero los prospectos de su manejo aseguran sus buenos resultados, aunque en dichos prospectos nos den a conocer las características técnicas exactas necesitando acudir a su estudio por osciloscopio, llevándonos alguna que otra decepción o deducción interesante.

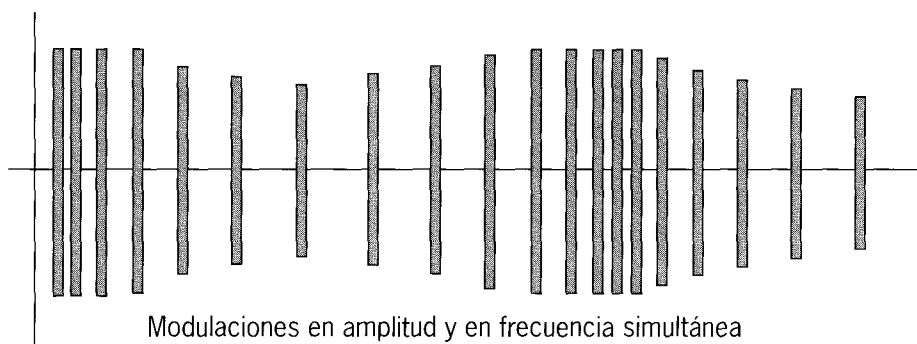


Figura VIII.58.

Las variantes en la forma de onda no tienen gran trascendencia, en tanto que mantengan un adecuado componente galvánico y su correspondiente efecto excitosensitivo o excitomotor. Pero sí es importante poner atención a si la forma de onda conserva componente galvánico o está totalmente anulado, pues es dato fundamental a la hora de elegir la estrategia de tratamiento, para basarse solamente en efectos sensitivos y motores o que incluyan componente electroquímicos.

A título de ejemplo analicemos un ENT (Estimulador Nervioso Transcutáneo) portátil, poco más grande que una cajetilla de tabaco, con dos salidas y diseñado para que el paciente lo lleve aplicado durante horas, previa composición de la corriente deseada con unos mandos ocultos al manejo del paciente, de manera que éste, únicamente, tiene que aplicarse los electrodos en el lugar indicado en la consulta, encendido del aparato y su correspondiente regulación de intensidad.

El aparato en cuestión tiene las siguientes características:

- Pila de 9 voltios.
- Dos salidas de aplicación.
- Frecuencia fija (siempre) de 80 Hz.
- Tiempo de período de 12,5 ms.
- Forma de onda característica de ENT de bobina:
  - onda positiva deformada y
  - pico inductivo negativo previo a la onda positiva (ver en la figura VIII. 33).
  - *Formas de corrientes:* la correspondiente a TNS.
- Un mando regulador de intensidad por cada salida:
  - onda positiva de 0 a 3 V;
  - pico negativo de 0 a 20 V.
- Un mando regulador del tiempo o *anchura* de impulsos para ambas salidas:
  - onda positiva de 2 a 4 ms;
  - pico negativo de 30 a 250  $\mu$ s.

- Un mando selector de modalidades de corriente para ambas salidas con tres modalidades de corrientes:
  - *Ráfagas* (trenes o burst);
  - *Frecuencia fija*;
  - *Moduladas*.

### RÁFAGAS o TRENES

- 6 impulsos de 80 Hz cada  $1/2$  sg (la duración de los impulsos depende de la posición del mando regulador de *anchura de impulsos*);
- duración del tren: 75 ms;
- pausa del tren: 425 ms.

### CORRIENTE DE APLICACIÓN MANTENIDA

- frecuencia fija de 80 Hz;
- los impulsos regulados por el mando de *anchura de impulsos* (al aumentar o disminuir la anchura, la sensación conseguida es de apariencia de aumento o descenso de frecuencia).

### MODULADAS

- barridos «de ida y vuelta» cada 5 sg modificando la anchura o tiempo de impulsos desde el mínimo posible (30  $\mu$ s), hasta el máximo seleccionado con el mando para este fin;
- frecuencia fija de 80 Hz.

Llama la atención que el autor o equipo diseñador del aparato no tengan en cuenta la teoría de las distintas frecuencias para distintos dolores (aunque subjetivamente la sensación parece indicar que sí cambia la frecuencia dentro de unos márgenes) cuando se regula el mando de anchura de impulso. Tampoco se tiene en cuenta el efecto galvánico (pues no se indica la polaridad de electrodos con colores distintos). Fundamentalmente, este aparato está diseñado para técnicas basadas en excitosensibilidad y excitomotricidad.

## **Cicatrización de heridas por estimulación nerviosa transcutánea**

Otra variante de la técnica, la ofrecen algunos aparatos que en su diseño contemplan una forma de corriente destinada para acelerar la curación o cicatrización de heridas, úlceras, escaras, zonas hipotróficas, pedículos de injertos por segunda intención, etcétera.

Analicemos la corriente con idea de entender su posible efecto y aplicación.

Dicha corriente está formada por (Fig. VIII. 39):

- impulsos cuadrangulares de corta duración (entre 0,01 a 0,5 ms);
- los impulsos se dan en los dos sentidos: (+ y -) es decir, bifásicos o alternos;
- los reposos dependen de la frecuencia aplicada;
- la frecuencia se puede regular, pero suele utilizarse la banda de 80 a 120 Hz;

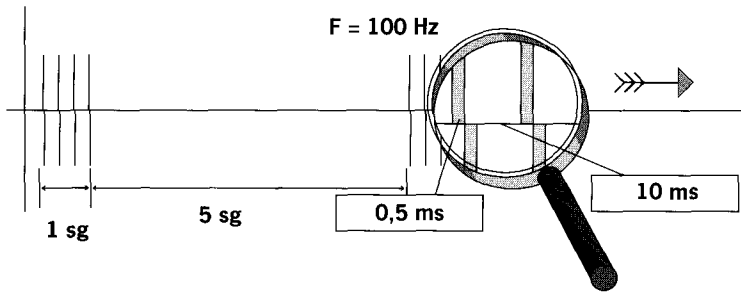


Figura VIII.59.

- los impulsos van agrupados en trenes o ráfagas de alrededor de 1 sg con poco gradiente de subida y bajada del tren (subida y bajada bruscas);
- las pausas entre trenes duran alrededor de 5 sg, o sea, un tren de 1 sg cada 6 segundos;
- la sesión puede durar hasta 2 horas;
- la intensidad no debe ser demasiado alta: bien perceptible, pero que no moleste en ningún momento;
- los electrodos son indistintos (no tienen polaridad), su colocación se practica sobre la misma escara a través de una gasa empapada en suero fisiológico *estéril*. En caso de existir anestesia, el considerado activo será situado inmediatamente proximal al foco, pero en la misma metámera de inervación cutánea.

La característica más trascendente de este diseño se halla en la propiedad de *bipolaridad* (onda positiva seguida de onda negativa), por lo que esta corriente pierde totalmente su posible componente galvánico o electroquímico en la zona.

Es una corriente destinada a producir simplemente estímulos en las terminaciones sensitivas con cortos impulsos, pero agrupados en trenes de un segundo para intensificar su efecto; al cabo de unos segundos, se repetirá la cadencia.

La base fisiológica consiste en estimular las terminaciones sensitivas para provocar el reflejo de vasoconstricción venosa, linfática y respuesta motora de la musculatura lisa que se encuentre en la zona estimulada, acelerando el drenaje de los líquidos retenidos a causa del débil trofismo y destrozo tisular causado por la ulceración. Circunstancia que mejorará el trofismo local y consiguientes consecuencias de respuestas biológicas.

No debemos olvidar que los trenes actúan cada 5 segundos, debido a la lentitud del peristaltismo o contracciones y reposos de las fibras de musculatura lisa.

Luego, según esta propuesta, en caso de querer diseñar una corriente semejante para esta técnica, los efectos químicos del galvanismo deben eliminarse o reducirse al mínimo. Otras propuestas sugieren el uso del componente galvánico situando el cátodo (–) sobre la ulceración para mejorar el trofismo local (técnica más arriesgada).

### Aplicación combinada de estimulación sensitiva y ultrasonidos

Otra técnica basada en efectos fisiológicos semejante a la anterior se refiere a la aplicación de corrientes analgésicas vía sensitiva, al mismo tiempo que se aplican ultrasonidos utilizando el cabezal como electrodo. Ver epígrafe correspondiente en el capítulo XV.

Dado que el cabezal es metálico y la única separación es el gel de aplicación, la intensidad de la corriente debe elevarse justo hasta sentir el calambre sin dolor.

En zonas edematosas, con induración cronificada o inflamación crónica, mediante:

- la deformación inducida a los tejidos con el movimiento del cabezal;
- el efecto energético y descoagulante del ultrasonido y
- el estímulo sensitivo de corriente que provoca reflejo miotático de fibra lisa;
- el efecto energético del ultrasonido más el estímulo motor de vibraciones musculares es muy útil en dolores de tipo mecánico.

Las corrientes aplicadas contribuirán a una mejor evacuación de los líquidos estancados, coincidiendo con su grado de dilución por efecto de los ultrasonidos.

## Precauciones y contraindicaciones

Ante pacientes con especial miedo o reacción de histerismo a las corrientes eléctricas, tendremos que aplicar estas técnicas con las debidas precauciones de progresión o, incluso, descartar la técnica.

En primer lugar, debemos aplicar la técnica correctamente para que cumpla los objetivos propuestos. Si el tratamiento se practica sin control o sin conocimiento de causa, los resultados serán imprevistos debido a esa mala práctica.

No usar electrodos metálicos como electrodo activo. Si el electrodo *masa* es amplio, puede ser metálico dependiendo del aplicador y de la intensidad ajustada.

Si la corriente aplicada está compuesta por impulsos largos, con bastante frecuencia, con polaridad e importante intensidad, habrá que considerar la posibilidad de quemaduras en la piel y proximidades con materiales metálicos de osteosíntesis. ***Las alteraciones electroquímicas en el interior del organismo provocadas por corrientes interrumpidas galvánicas son quemaduras químicas y no por exceso de calor.***

No aplicar los electrodos en zonas alteradas de la piel ni atrapar entre el electrodo y la piel metales de joyería o bisutería. Si los electrodos crean un campo eléctrico, que pueda invadir el corazón o marcapasos cardíaco, es obligado evitarlo cambiando los electrodos de lugar.

Si la aplicación se practica en las proximidades del sistema nervioso central o ganglios neurovegetativos, la intensidad será baja y pendiente de respuestas neurovegetativas en el paciente.

En mujeres embarazadas, hacer aplicaciones muy lejanas de las proximidades del feto, pues el incipiente sistema nervioso del feto, sus músculos y corazón pueden sufrir reacciones y respuestas descontroladas con efectos no deseados.

No aplicar en procesos neoplásicos, tanto si los electrodos se colocan sobre el tumor como si el campo eléctrico lo invade.

Mucha precaución con los procesos tromboflebíticos, pues unas veces por efectos de contracción muscular cercana al foco y otras por provocar motricidad vascular refleja, podemos inducir a la liberación de microtrombos con consecuencias imprevisibles.

Se evitará que el paciente toque otros aparatos eléctricos con derivación a tierra, sobre todo si el estimulador aplicado también se encuentra conectado a la red eléctrica. En los pequeños aparatos de baterías, no tiene tanta importancia esta precaución.

Es importante recordar la anatomía y fisiología de las vísceras y glándulas, pues podemos provocar contracciones de musculatura lisa de las mismas, las cuales desencadenarán molestias, retortijones y evacuación innecesaria de jugos gástricos u hormonas.

## Algunos casos

Tratando de resumir con algunos ejemplos todo lo expuesto, aunque no es nada conveniente caer en recetarios extensibles «para todo», pues siempre debemos partir de una previa exploración de la zona con idea de encontrar estructuras alteradas, tipo de alteración, y planificar la técnica más indicada, a fin de devolver la normalidad a la alteración descubierta, las técnicas de analgesia pueden resumirse en las siguientes pautas de actuación:

- 1) **analgesia por estimulación sensitiva a lo largo del trayecto nervioso (adormecimiento de la zona);**
- 2) **analgesia por estímulo sensitivo en la zona dolorosa sin componente galvánico (subida del umbral sensitivo local y efecto puerta en la formación reticular medular);**
- 3) **analgesia local por estímulos sensitivos con componente galvánico (foresis de catabolitos que irritan químicamente);**
- 4) **analgesia por reducción de las tensiones musculares y tendinosas debidas a contracturas (vibraciones musculares que conducen a relajación) y, finalmente,**
- 5) **analgesia por trabajo muscular que limpiará y lavará al músculo y alrededores de toxinas y líquidos retenidos (contracciones alternas que generarán bombeo circulatorio).**

Siempre se conseguirán mejores efectos si se intercalan varios métodos en la misma sesión, en lugar de «colocar durante cierto tiempo una corriente hasta que suene el reloj».

Partiendo de estas premisas, veamos algunos casos:

### DOLOR AGUDO DE PERIARTRITIS ESCAPULOHUMERAL

Normalmente provocado por procesos inflamatorios agudos en la articulación o articulaciones del hombro o espacio subacromial, así como en pacientes de reciente intervención quirúrgica.

En los dolores agudos, no debemos aplicar corrientes con respuestas motoras y mejor evitar las de componente galvánico para interferir lo menos posible en el fuerte proceso inflamatorio. Pero sí debemos atacar por vía neurológica saturando a la raíz nerviosa que inerva la cápsula y alrededores periarticulares de la glenohumeral, localizados en el espacio subacromial.

Da muy buenos resultados el estímulo sensitivo del nervio *supraespinoso* (Fig. VIII. 40) situando un electrodo entre la clavícula y la espina de la escápula, sobre la zona más externa de la fosa supraespinoza. El otro electrodo se fija en la cara anterior del hombro inmediatamente inferior a la apófisis coracoides.

La corriente será de aplicación mantenida durante toda la sesión o con modulaciones en frecuencia. La frecuencia seleccionada se regulará entre 80 a 150 Hz. Pulsos menores de 0,5 ms. La intensidad no debe provocar respuesta motora (o no superar un mínimo tolerable). Si el paciente se acostumbra al estímulo y pierde la sensación de calambre, elevaremos su intensidad de nuevo. El tiempo de la sesión se establecerá entre 15 y 30 minutos.

Se busca dejar saturado sensitivamente al nervio y reducida su sensibilidad al dolor después de haber practicado movilizaciones que hubieran generado molestias en la zona. Después de esta técnica, deberemos dejar al paciente en reposo, es decir, reservarla como última fase del tratamiento.

## DOLOR ESPONTÁNEO EN LA PLANTA DEL PIE

Puede deberse a (descartando otros orígenes y patologías):

- tendinitis de los flexores plantares y de los dedos;
- contracturas de la musculatura intrínseca;
- condropatías articulares;
- radiculalgias por compresión.

La táctica a seguir vendrá dada por la exploración y generalmente irá dirigida a:

- a) Relajar musculatura intrínseca por efectos motores vibratorios, situando los electrodos en la planta longitudinalmente y aplicando impulsos o pequeños trenes con una frecuencia cómoda para el paciente de 2 a 6 Hz (Fig. VIII. 41).



Figura VIII.40.

- b) Reducir las contracturas en los músculos de los tendones afectados por dolor; mediante vibración muscular, colocando los electrodos en los cuerpos musculares correspondientes por el mismo método del punto anterior.
- c) Estimulación sensitiva con electrodo negativo sobre la zona dolorosa, impulsos cuadrangulares de 1 ms y 100 Hz. La negatividad del electrodo y los impulsos de 1 ms obedecen a conservar un componente galvánico importante, con el fin de provocar cambios químicos en la zona, conducentes a la mejora del trofismo y pH más adecuado. En caso de buscar únicamente el efecto sensitivo, se anula el componente galvánico con impulsos bipolares y de menor duración.
- d) Si la musculatura no se halla demasiado afectada, después de las series señaladas, se pueden aplicar trenes de varios segundos para tonificar y mejorar el riego por efecto bombeo.

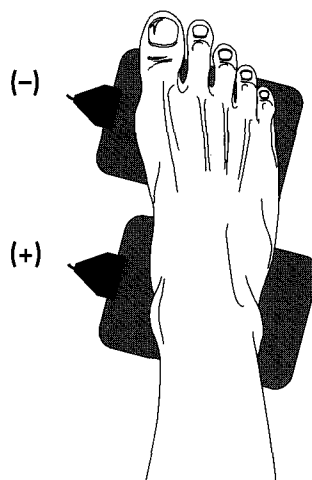


Figura VIII.41.

En lugar de aplicar una única posibilidad por sesión, es mejor colocar sucesivamente las que veamos necesarias.

## DOLOR EN CÓNDILO INTERNO DE RODILLA

Si su procedencia no es traumática y directa sobre la zona, normalmente puede deberse a:

- dolores reflejos en el periostio con origen en la compresión nerviosa del femoral;
- por atrofia isquémica del vasto interno del cuádriceps;
- por patología del ligamento lateral interno;
- por los meniscos;
- por condropatías, pero con mayor frecuencia;
- por tensiones aplicadas sobre la zona de las inserciones musculares y ligamentosas de aductores, expansiones de isquiotibiales internos o, también, el alerón rotuliano.

Requiere de una precisa exploración detectora del origen o posibles causas, según las cuales actuaremos en consecuencia.

Podemos observar y palpar cierto nivel de edema, de fibrosis, de inflamación, de dolor a la deformación de tejidos, de contracturas en los músculos que se insertan en las proximidades, fibrosis de las patas de ganso, etcétera.

**En casos de excesiva sensibilidad al dolor o proceso inflamatorio en estado agudo o subagudo, es posible que los electrodos no se puedan colocar directamente sobre la zona.**



La táctica de tratamiento antiálgico debe dirigirse a:

- a) Eliminar toxinas de la zona con corrientes que mantengan componente galvánico, además de generar vasodilatación por estimulación sensitiva, debiendo aplicarse el electrodo negativo localmente y la corriente formada por impulsos de 1 a 5 ms y una frecuencia de 100 a 130 Hz.
- b) Luchar contra la fibrosis mediante elasticidad causada por tensiones musculares vibratorias, buscando respuesta motora suave y repetitiva de los músculos que más afecten al proceso fibrótico.
- c) Subir el umbral del dolor en la zona o bloquearlo en la formación reticular medular (gate control) mediante corrientes sensitivas, con o sin efecto galvánico, colocando un electrodo sobre el dolor, pero subiendo la intensidad cada vez que el paciente manifieste acostumbamiento al estímulo eléctrico. Dado que la intensidad se está aumentando progresivamente, es importante que la corriente no mantenga componente galvánico y esté formada por impulsos bifásicos menores de 0,5 ms.
- d) Reducir la conducción nerviosa colocando los electrodos a lo largo del trayecto nervioso (plexo y zona dolorosa, respectivamente), a la vez que se aplica una corriente sensitiva sin componente galvánico, pero con barridos de frecuencia que pueden oscilar entre 50 y 130 Hz.
- e) Relajar músculos con inserción tendinosa en la zona afectada, sometiéndolos a vibraciones con trenes o impulsos aislados en una frecuencia de 2 a 6 Hz (decidiéndonos por la frecuencia que el paciente manifieste más relajante) (Fig. VIII. 42).

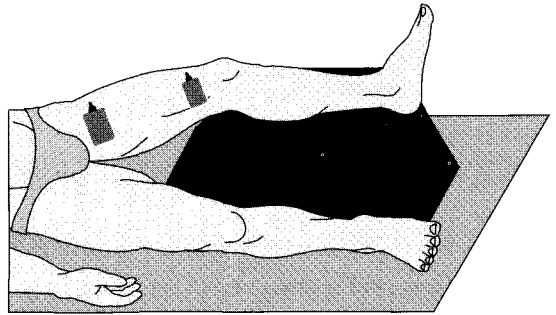


Figura VIII.42.

En lugar de aplicar una única posibilidad por sesión, es mejor aplicar sucesivamente las que veamos necesarias.

## DOLOR DIFUSO EN LA RODILLA

Las causas pueden ser múltiples, pero, en general, diremos que son dolores difusos, no localizables con la palpación, que se mantienen durante el reposo, que aumentan con la actividad, acompañados de inflamación, etc., suelen ser dolores de origen químico, por lo cual, buscaremos técnicas que provoquen cambios químicos y reducción de la actividad neurológica, despreciando las motoras, aunque en determinadas circunstancias pueden estar indicadas.

- a) Licuando el derrame articular, si existe, con corrientes que mantengan fuerte efecto galvánico y poco sensitivo, envolviendo la articulación con grandes electrodos de la misma polaridad (-) para aplicar otro neutro a distancia, de tamaño tal que sea

mayor que la suma de los activos. El negativo genera licuación y vasodilatación, pudiéndose reforzar el efecto aplicando un medicamento desestructurante de colágeno (por ejemplo, Thyomucase), pero cuidando que la polaridad del medicamento no sea contradictoria con el efecto galvánico buscado. La corriente puede estar formada por impulsos cuadrangulares de 1 ms y reposos de 1 ms, dando una frecuencia de 500 Hz, la cual conserva el 50% de componente galvánico y se hace tan soportable como sensitiva.

- b) Aplicando analgésicos o antiinflamatorios por iontoforesis con corrientes que contengan o no componente sensitivo, pudiendo diseñar alguna corriente semejante a la del punto anterior o directamente la galvánica con las precauciones ineludibles referidas a la dosis.
- c) Reduciendo el umbral sensitivo local y del nervio colocando los electrodos en origen del femoral y cercanías de la rodilla, respectivamente, pero con corrientes que hagan barridos de frecuencia.
- d) En caso de hallarse la cápsula muy fibrosada o el derrame denso y coagulado, estarían indicadas contracciones alternativas de las masas musculares que traccionan sobre la cápsula para deformarla y desestructurar al colágeno, liberar el edema contenido y batir el derrame para impedir su coagulación. Ello sería posible con trenes de 1 a 5 segundos y pausas similares, dependiendo de la elasticidad y tumefacción de la zona. Dichos trenes se aplicarían, por ejemplo, en cadena anterior con posterior o cadena interna con externa, para contraerse alternativamente y deformar también alternativamente la cápsula (Fig. VIII. 43).

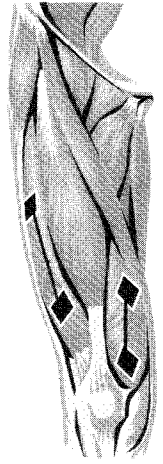


Figura VIII.43.

En lugar de aplicar una única posibilidad por sesión, es mejor aplicar sucesivamente las que veamos necesarias.

## CIÁTICA

La ciática es un dolor neurálgico provocado por:

- pinzamientos del nervio (en mayor o menor grado) a lo largo de su trayecto;
- por roturas tisulares que afectan a la integridad de las raíces o del nervio;
- por compresiones debidas a contracturas musculares;
- por transcurrir por zonas inflamadas o edematosas;
- por elongaciones debidas a cambios estructurales del esqueleto, etcétera.

En general, buscaremos eliminar la causa siempre que, previamente, la encontremos con una detallada exploración de paravertebrales, de psoas ilíaco, del piramidal, posible lesión al paso por el agujero obturador, pinzamiento de la raíz, posible hernia discal, etc.; y, una vez eliminada la causa, trataremos de reducir la actividad neurológica si ésta es dolorosa.

- a) Ante la eliminación de causas, es posible que nos veamos muy limitados con la electroterapia de baja frecuencia (mejor con alta frecuencia), pues es probable que si acudimos a efectos motores, provoquemos mayor dolor (sobre todo en procesos agudos).

- b) Reducción de la actividad neurológica aplicando los electrodos a lo largo del trayecto nervioso y buscando efectos sensitivos sin componente galvánico ni motor, mediante corrientes formadas por impulsos bipolares, cuadrangulares, de 0,1 ms y barridos de frecuencia entre 50 a 150 Hz (nunca superar el umbral motor) (Fig. VIII. 44). Es muy útil y da buenos resultados aplicar la portadora de media frecuencia con modulación cero.
- c) Podría resultar interesante contar con la posibilidad de aplicar localmente iontoforesis de algún analgésico, un antiinflamatorio o complejo vitamínico (B); si estamos seguros de haber localizado la zona origen del pinzamiento. La corriente usada para la iontoforesis no debe ser la galvánica, pues es frecuente que en la zona estén anuladas o disminuidas respuestas neurovegetativas, pareciendo más indicada una corriente formada por impulsos con alto componente galvánico.

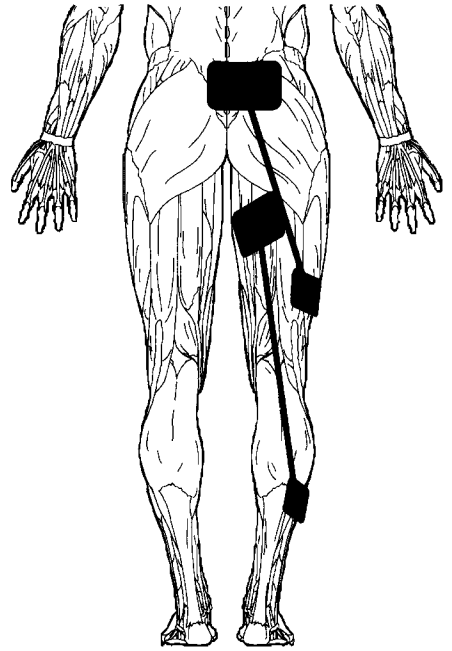


Figura VIII.44.

En lugar de aplicar una única posibilidad por sesión, es mejor aplicar sucesivamente las que veamos necesarias.

## DOLOR MUSCULAR EN DORSALGIAS

Los dolores de espalda o dorsalgias son complejos, pueden proceder de:

- tensión mecánica acumulada en las fascias y tendones de las amplias contracturas con manifestación general;
- por la intoxicación catabólica de las masas musculares al mantenerse contracturadas;
- por viejos procesos inflamatorios no resueltos y la proliferación de geloides encapsulando catabolitos;
- por malposiciones vertebrales que desencadenan irritaciones de los cartílagos articulares, cápsulas e inflamaciones alrededor de los agujeros de conjunción causantes de irritación e irradiación de dolor neurológico a distintas zonas metaméricas;
- irradiaciones por compresión de raíces nerviosas en puntos concretos de su origen o recorrido.

Dependiendo del origen de los dolores, así nos marcaremos la estrategia de analgesia. Pero, para poder establecer los orígenes, será muy necesaria la oportuna exploración.

- a) Cuando palpemos la zona, apreciaremos el nivel del tono muscular, dato que nos hará dar mucha o poca importancia al nivel de contractura para relajarla con efectos motores mediante trenes cortos y pausas cortas, tratando de provocar en las grandes masas musculares contracciones rítmicas que conducirán a la progresiva relajación. Los electrodos serán amplios y colocados en sentido longitudinal a la masa muscular tratada.

Si la palpación es excesivamente dolorosa y desencadena respuesta de defensa, será mejor evitar la estimulación que supere los umbrales motores.

- b) Las presiones o empujes sobre las espinosas y transversas, intentando un ligero desplazamiento vertebral con relación a sus adyacentes, pueden ser o no dolorosas, pues, en caso de dolor, nos indicará que las estructuras articulares (cartílago, cápsula, ligamentos, inserciones musculares fundamentalmente de las articulaciones posteriores y costo vertebrales) se encuentran inflamadas, provocando que los mecanorreceptores lentos transmitan información de dolor en lugar de estímulos propioceptivos. Si esto es así, buscaremos movilizar repetidas veces las articulaciones afectadas mediante contracciones musculares suaves y repetitivas. Es importante recordar (ver Tabla VIII. 1) que una de las funciones de los mecanorreceptores rápidos de tipo I y II es producir analgesia, siempre que no se hallen también afectadas por el proceso inflamatorio, situación en la cual, al movilizar, provocaríamos más dolor y los efectos motores no estarían indicados.
- c) Si sometemos al paciente a un movimiento exploratorio en el cual elongamos hasta su límite la musculatura explorada, y ésta responde con tirantez dolorosa, nos indicará que las fascias e inserciones se encuentran sometidas a exceso de tensión y, por consiguiente, la estrategia a seguir bien puede ser la vibración muscular o contracciones más largas (varios segundos), pero colocando al paciente **con la musculatura interesada en estado de elongación relativa**.

En caso de que el movimiento activo (en contracción excéntrica) no solamente responda con dolor y tirantez, sino que, además, añada irradiación nerviosa, estamos comprometiendo a la raíz, bien por elongación de la misma o por compromiso debido a lesión de otros tejidos. **Nunca olvidemos que los nervios avanzan entre y a través de las masas musculares y las roturas musculares pueden invadir el terreno nervioso**, lesionándolos o desmielinizándolos.

Ante la situación de movimiento con dolor muscular e irradiación, seguramente deberemos descartar los efectos motores, conformándonos con estímulos sensitivos en los puntos de mayor tensión y dolor usando corrientes que lleven o no componente galvánico (dependerá de otros factores que veremos enseguida).

- d) Pero si en el movimiento de vuelta a la posición de partida (acortamiento muscular por contracción concéntrica) aparece dolor, este suele proceder del interior muscular por hallarse invadido de sustancias que estimulan los quimiorreceptores, provocando que el trabajo muscular sea doloroso. Ante esta situación, buscaremos el efecto de bombeo por contracciones musculares poco intensas (teniendo como límite el dolor) y mantenidas durante varios segundos.

Por otra parte, sobre viejas y rebeldes contracturas localizadas, podemos aplicar estímulos sensitivos con componente galvánico negativo (bien podría ser la corriente de Trabert 2-5), buscando cambios químicos por rechazo de catabolitos y vasodilatación.

- e) Si en la palpación detectamos importantes niveles de adherencias y fibrosis en las fascias y músculos, las mejores estrategias también procederán de contracciones musculares repetitivas con los tejidos elongados, contracciones destinadas a desestructurar las travéculas del excesivo tejido conjuntivo. Por otra parte, es factible aplicar las técnicas de *elongaciones musculares* descritas en los correspondientes epígrafes sobre faradización, media frecuencia e interferenciales.
- f) Si el dolor es de tipo radicular con un trayecto definido, aplicaremos estímulos sensitivos sin componente galvánico con una corriente a frecuencia fija, que bien puede ser:
  - impulsos cuadrangulares bifásicos de 0,1 ms;
  - reposos que consigan una frecuencia entre 100 a 200 Hz (de 10 a 5 ms);
  - electrodos a lo largo del trayecto nervioso y
  - reactualizar la intensidad cada vez que el paciente perciba pérdida de estímulo eléctrico.
- g) Ante dolores generalizados en la espalda e hipersensibilidad a la palpación, aplicaremos corrientes para estímulos sensitivos sin componente galvánico en las zonas más alteradas (siempre que sea soportable el estímulo eléctrico en el punto de dolor). Éstas suelen aportar un inmediato componente analgésico por efecto puerta en la formación reticular medular, «gate control», aunque poco duradero. Es más prolongado si usamos la portadora de media frecuencia con modulación cero.

Buscando este efecto, encontramos descritas viejas técnicas que aplican corrientes (solamente con efecto sensitivo) a la vez de dar masaje con manoplas electrodos, vibradores, rodillos, y en los últimos años, con el cabezal de ultrasonidos.

- h) Es muy habitual encontrar en las espaldas zonas especialmente dolorosas cuando palpamos, a la vez que detectamos sensación de grumosidad, abultamiento fibroso con forma concreta, mayor o menor capacidad de desplazarse aunque atrapado entre tejidos: son los llamados gelomas, geloides, fibromas, etc. (no confundir con roturas musculares). Zonas fibrosadas que engloban en su interior gran cantidad de catabolitos, con pH de gran acidez y su localización se reparte junto a los puntos de mayor sobrecarga: ángulo inferior de la escápula, inserciones costales de los escalenos, últimas inserciones vertebrales del trapecio, tendón del supraespinoso, pata de ganso superficial, proximidades de las sacroilíacas y crestas ilíacas, etcétera.

En estos puntos suele ir muy bien una corriente de aplicación mantenida, no trenes, con fuerte componente galvánico y electrodo negativo como activo, para tratar de conseguir cambios químicos intensos por electronegatividad junto con vasodilatación y aumento del riego. También, por electronegatividad y estímulo sensitivo intenso. Podemos añadir, a modo de iontoforesis, algunos medicamentos con efecto desestructurante del colágeno o antiinflamatorio.

- i) Si somos hábiles en la palpación, detectaremos, en los cuerpos musculares afectados de contracturas, puntos en los que el nivel de contracturas es especialmente alto, muestran sensibilidad más dolorosa y también desencadenan dolor a cierta distancia del punto palpado: son los llamados *puntos gatillo* con carga neurológica excesiva, con los cuales, al mantener presión suave sobre ellos, relajan el músculo (técnica de Jons). Si en lugar de la presión mantenida aplicamos estímulos sensitivos suaves sin superar el umbral doloroso, la corriente sin componente galvánico, de impulsos cortos y frecuencia alrededor de 100 Hz, inducirá alteraciones en el circuito de servocontrol del tono muscular, alteraciones que conducirán a la relajación del músculo tratado. Seguramente, la presión del electrodo puntual en una aplicación manual también contribuirá a la respuesta de relajación.

Esta técnica debiera aplicarse manualmente sobre el punto gatillo. Una mano del terapeuta dirige el electrodo puntual, mientras la otra palpa para que no aparezca respuesta motora (o mínima) a la corriente y que el tono muscular habitual tienda a la relajación. Retirar el electrodo al conseguir el objetivo.

En caso de descontrol en el tiempo o en la intensidad, el resultado puede ser inverso al esperado, por lo que esta técnica requiere de atención exclusiva y conocimiento de la fisiología neuromuscular. Lógicamente, este método no es exclusivo de la espalda, ya que puede extenderse a cualquier músculo del organismo.

- j) Relajación del *psoas*. Este músculo es causante de muchas lumbalgias por contractura, dislaceraciones y roturas en su cuerpo o zonas de inserción, además de comprometer con frecuencia a raíces nerviosas que lo atraviesan o circundan. Sin embargo, es muy difícil acceder a él con electrodos, dada su profundidad.

Para tratar de influir en la relajación del *psoas*, podemos conseguirlo con vibraciones musculares o contracciones cortas seguidas de reposos cortos, *colocando los electrodos*: uno amplio [(+) si trabajamos con polaridad] en la zona de la costilla doce y el otro (-) sobre su salida del abdomen en el triángulo de escarpa antes de insertarse en el fémur.

Si la influencia motora en este músculo implica alteraciones neurálgicas, estarán contraindicadas las corrientes que le contraigan.

## TENDINITIS EN GENERAL (EPICONDILITIS, TENDÓN DEL SUPRAESPINOSO, TENDINITIS DEL ROTULIANO, CABEZA LARGA DEL BÍCEPS, ETCÉTERA)

Necesitamos programar el adecuado protocolo exploratorio para discriminar los distintos orígenes y diferenciar las probables causas para establecer los tratamientos más precisos.

Las causas de dolor en las tendinitis pueden ser muy variadas, en principio las dividiremos por su:

- origen traumático directo y
- por degeneración o sobrecarga de la zona.

Las primeras requieren de atenciones adecuadas por incluir en la mayoría de los casos alteraciones anatómicas, circunstancia a tener muy en cuenta en los períodos de estado agudo. Las segundas son más complejas y más difíciles para establecer la adecuada estrategia de analgesia.

Las tendinitis de aparición espontánea pueden deberse a:

- entesitis o alteración en la zona de unión *tendón-hueso* (epicondilitis, tendinitis del rotuliano, inserción del tríceps sural);
- *inflamación* a lo largo del tendón por sobrecarga o roce excesivo (cabeza larga del bíceps, supraespinoso, epicondilitis);
- pequeñas *alteraciones en la anatomía* del tendón con roturas fibrilares (supraespinoso, tendón rotuliano, tendón de Aquiles);
- *reacciones fibróticas* que atrapan a los tendones provocando en ellos mala nutrición y alterando su función (cabeza larga del bíceps, pata de ganso superficial, tendón del supraespinoso, epicondilitis o epitrocleitis);
- *sinovitis* que inducen inflamación o adherencias al tendón, situaciones muy frecuentes en los tendones de la muñeca y mano, otras veces, pueden provocarla las serosas cercanas;
- *alteraciones del cuerpo muscular* que se prolongan hasta el tendón (cualquier músculo con problemas, inducirá en mayor o menor grado una tendinitis);
- pérdida de *tono muscular*, normalmente, por bajada importante en la calidad de inervación de la zona, cuando las raíces nerviosas sufren de radiculalgias o compresiones en su origen o trayecto (epicondilitis, epitrocleitis, tendón del supraespinoso, cabeza larga del bíceps, radiculitis en los pies);
- *sobrecarga* en el trabajo encomendado al tendón por tener que suplir el trabajo de otros sinergistas o soportar un constante estado de contractura (tendinitis del supraespinoso, tendinitis del angular del omóplato, tendinitis del tríceps, tendinitis de los isquiotibiales).

La mayoría de causas se superponen unas a otras aunque, tal vez, la originaria dependa mucho de la localización anatómica y función del tendón en cuestión. Es muy interesante practicar pruebas de respuesta neuromuscular en las zonas afectadas (descritas en el capítulo X), pues nos daremos cuenta de que muchos de los problemas pueden tener un origen en las deficiencias de inervación por cervicoartrosis o alteraciones lumbosacras.

- a) Las mejores respuestas antiálgicas las obtendremos con corrientes que mantengan fuerte componente galvánico junto con efecto sensitivo. El componente galvánico se puede reforzar con iontoforesis de antiinflamatorios, anestésicos o desestructurantes de colágeno, dependiendo de si preferimos desinflamar, anestesiarse o liberar de fibrosis. Procuraremos que los medicamentos a usar posean polaridad negativa. El componente sensitivo vendrá dado por un electrodo activo de polaridad negativa buscando respuesta de saturación sensitiva y vasodilatación (*salvo en los casos de procesos agudos*).

- b) Los efectos motores serán menos empleados, dado que la mayoría de procesos son debidos a sobrecargas, situaciones en las que buscaremos tendencia al reposo. Pero, en determinadas circunstancias en las que la tendinitis es causada por contractura muscular, por fibrosis, por edemas o empastamientos capsulares, se pueden emplear trenes que generen contracciones poco intensas que relajen al músculo, liberen al tendón o que ayuden a evacuar y movilizar las cápsulas y bolsas serosas adheridas. Asimismo, las vibraciones musculares conducen a relajación muscular (Fig. VIII. 45).



Figura VIII.45.

## ROTURAS MUSCULARES

Sean de origen traumático o por sobreesfuerzo, las roturas musculares se detectan con claridad mediante la palpación, que aparecerá dolorosa, elongación muscular dolorosa, contracción muscular dolorosa y pérdida de fuerza; si son importantes y superficiales, a simple vista se aprecian claramente. Cuando las roturas fueran profundas, antiguas y cicatrizadas, se reduce la sintomatología y requeriremos habilidad para detectarlas, aunque suele persistir un proceso con respuesta dolorosa a la palpación y cierto nivel de fracaso funcional cuando el músculo es sometido a pruebas que tensionen la zona.

Palpando los desgarros transversales o con componente oblicuo, detectaremos una oquedad dolorosa y, al lado —en sentido proximal o distal a la dirección de las fibras—, un repliegue y abultamiento de los fascículos desprendidos también doloroso. Si la rotura es longitudinal, notaremos un ojal en la continuidad homogénea del músculo, zona del ojal que también se manifestará dolorosa.

*Es por experiencia y observación del autor que las roturas transversales con repliegue de fibras hacia proximal causan menos problemas que cuando el repliegue es hacia distal de la línea de fractura en las fibras. Es también una hipótesis del autor que seguramente se deba a que la nutrición de las fibras replegadas hacia distal es más dificultosa que en el repliegue proximal, generándose un foco de problemas tróficos, degenerativos y dolorosos.*

Muchas roturas musculares se aprecian a simple vista (el signo de Popeye en el bíceps), pero gran parte de estas lesiones se detectan mediante la palpación debidamente entrena-



da. El mismo bíceps presenta con frecuencia una rotura hacia el proximal que provoca retracción de fibras bajo el deltóides y que con el tiempo, al cronificarse, genera una masa fibrótica e indurada que se adhiere al deltoides, tendón de la cabeza larga del bíceps, tendones del pectoral mayor, redondo mayor, subescapular, bursitis dubdeltoidea, etc. Dicha rotura termina generando una compleja sintomatología de hombro.

Las estrategias de analgesia por electroterapia ante roturas musculares dependerá del tiempo transcurrido desde la lesión, de la intensidad en la misma, de la localización en el músculo, de la firmeza y resistencia cicatricial, etc., pero también nos apoyaremos en lo observado con la previa exploración:

- a) En los momentos agudos o situaciones en las que detectemos que el trabajo muscular es doloroso y corramos el riesgo de aumentar el desgarró, estarán contraindicados los tratamientos que conlleven efectos motores. Es posible que podamos iniciar efectos motores aplicando un vendaje funcional no elástico o cincha que comprima y sujete la zona en el momento de la contracción.
- b) Si la rotura es antigua, con un proceso cicatricial exagerado, fibrosis que atrapa zonas cercanas e impide la función muscular adecuada, pueden venir muy bien contracciones vibratorias con trenes cortos, así como impulsos aislados, en frecuencias que oscilen entre 1 y 6 Hz (observando siempre las respuestas). En otras circunstancias, tal vez, resulte mejor aplicar trenes largos (de 5 a 10 sg) y pausas iguales o mayores, buscando la potenciación, la elongación mantenida del tejido cicatricial y la mejora circulatoria extra e intramuscular, tratando de reactivar el trofismo y creación de nuevos vasos linfáticos y sanguíneos que fueron destruidos en el momento de la lesión, complicado por la cicatriz que no permite el adecuado restablecimiento.
- c) Las viejas cicatrices musculares también se pueden tratar con corrientes mantenidas sin trenes, buscando estímulo sensitivo, con polaridad y fuerte componente galvánico, tales como la corriente de Trabert de 2 ms de impulso y 5 ms de reposo, la monofásica fija de las diadinámicas, o cualquier otra diseñada sobre la marcha, atribuyéndola el componente galvánico deseado. Esta corriente la aplicaremos tanto con el electrodo activo como negativo (-), más un importante efecto sensitivo para provocar respuesta neurovegetativa de vasodilatación. Además, añadiremos la técnica de iontoforesis con un medicamento desbridante del derrame coagulado, un antiinflamatorio, un vasodilatador o un anestésico (según el efecto deseado).
- d) *En los párrafos anteriores queda dicho que una de las mayores contraindicaciones ante roturas musculares recientes es la de aplicar actividad motora provocada por estimuladores eléctricos transcutáneos. Pero si deseamos practicar alguna terapia dirigida a la analgesia cuando todavía nos hallamos ante procesos agudos o subagudos, podemos intentarlo con corrientes sensitivas sin componente galvánico y con los electrodos en las proximidades de la zona, pues, seguramente, no se tolerará el electrodo directamente sobre la lesión. Recordemos el efecto de galvanopalpación, efecto a propósito del cual se decía que la hipersensibilidad convierte la sensación de calambre eléctrico en dolor. Es en estas circunstancias en las que consigue muy buenos resultados la portadora de media frecuencia con modulación cero.*
- e) Si la corriente es soportada «in loco dolendi», podemos intentar corrientes con componente galvánico (anulando el sensitivo) y polo (+) sobre la lesión para tratar de con-

seguir vasoconstricción y coagulación que reduzca la inflamación y derrame. Podemos superponer la técnica de iontoforesis con un medicamento adecuado en su polaridad y con efectos de analgesia o antiinflamatorio. Para reducir el estímulo sensitivo intenso, aumentaremos la frecuencia hacia los 500 Hz.

- f) Es posible que ante estados subagudos vaya mejor el polo (-) para licuar el derrame buscando mejor reabsorción y provocar vasodilatación que favorezca el trofismo. La corriente puede conservar *efecto sensitivo*. La iontoforesis, en este caso, sería con antiinflamatorios o desbridantes de polaridad (-).

Volveremos a recordar que, para que una corriente formada por impulsos cuadrangulares mantenga mayor o menor grado de componente galvánico y mayor o menor componente sensitivo, jugaremos con los tiempos de impulso y reposo para obtener las frecuencias deseadas, partiendo de los siguientes conceptos de respuesta fisiológica:

- 1) cuanto mayor es el tiempo de impulso, mayor componente galvánico y sensitivo conseguimos;
- 2) cuanto menor es el tiempo de impulso, menor componente galvánico, aunque se conserva bastante bien el sensitivo;
- 3) con tiempos de reposo cortos aumenta la frecuencia, aumenta el efecto galvánico, pero si superamos la banda de mejor respuesta sensitiva, perdemos estímulo sensitivo. Si pasamos de 300 Hz, ya se inicia la pérdida de respuesta sensitiva;
- 4) con tiempos de reposo largos disminuye la frecuencia, disminuye el efecto galvánico y perdemos estímulo sensitivo si bajamos de 50 Hz.

Los cuatro puntos nos vuelven a conducir a la fórmula de:

$$I_{(media)} = I_{(pico)} \cdot T_{(impulso)} \cdot F_{(Hz)}$$

Según esto, ¿cómo formar dos corrientes que contengan componente galvánico y en las que una de ellas pierda el sensitivo?

Primero, tomemos como referencia que para alcanzar buena respuesta sensitiva, debemos conseguir una frecuencia oscilante entre 100 a 200 Hz. Luego los períodos de los ciclos tendrán que durar entre 10 y 5 ms (ver Figs. VIII. 8 y 9).

— Corriente con fuerte componente galvánico y fuerte efecto sensitivo:

- tiempo de impulso = 1 ms
- tiempo de reposo = 5 ms
- período del ciclo = 6 ms
- frecuencia =  $(1.000/6) = 166,6$  Hz
- intensidad de pico = 60 mA
- componente galvánico =  $(60 \text{ mA} \cdot 166 \text{ Hz} \cdot 0,001 \text{ sg}) = 9,96 \text{ mA}$

— Corriente con fuerte componente galvánico y efecto sensitivo pobre. Para ello subiremos la frecuencia por encima de 1.000 Hz:

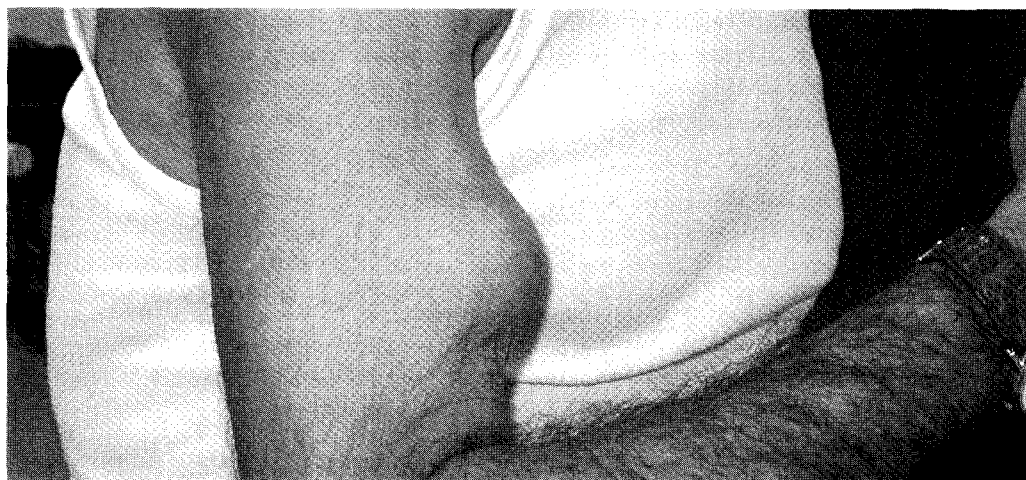


Figura VIII.46.

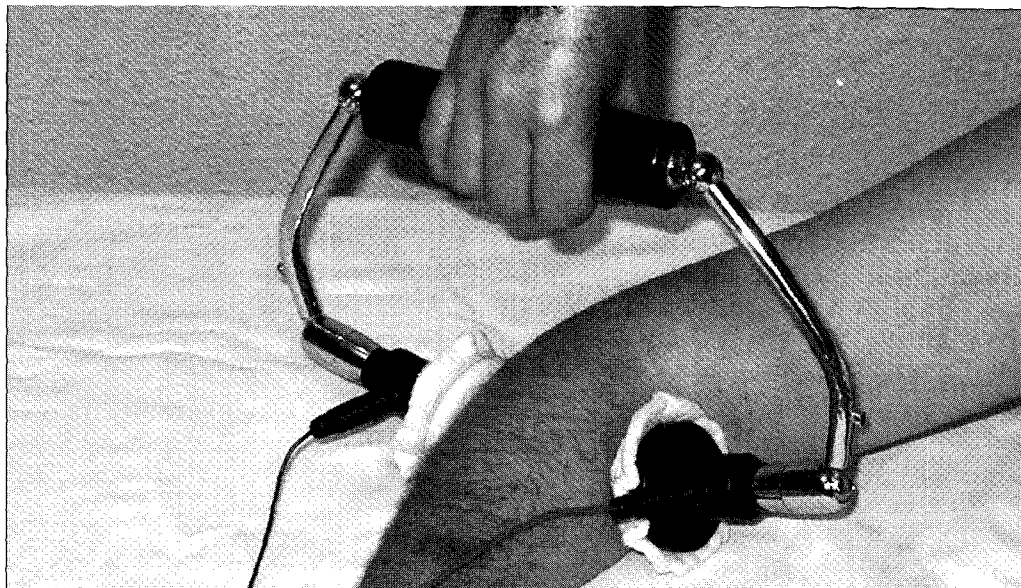
- tiempo de impulso = 0,1 ms
- tiempo de reposo = 0,5 ms
- período del ciclo = 0,6 ms
- frecuencia =  $(1.000/0,6) = 1666,6$  Hz
- intensidad de pico = 60 mA
- componente galvánico =  $(60 \text{ mA} \cdot 1666 \text{ Hz} \cdot 0,0001 \text{ sg}) = 9,996 \text{ mA}$

En ambos casos mantenemos, prácticamente, el mismo componente galvánico, mientras que con los 1.666 Hz y el tiempo de impulso tan corto, hemos perdido casi todo el efecto sensitivo.

Al utilizar los equipos o pequeños aparatos jugando con todas estas posibilidades, ya superamos los límites de frecuencia establecidos por los TNS de primera generación que la establecían en 100 Hz.

En la actualidad, los modernos equipos de electroanalgesia son muy versátiles por permitir variar los parámetros, pero el juego y regulación de parámetros requiere del fisioterapeuta importantes esfuerzos para repasar la fisiología y dominar las respuestas fisiológicas ante las corrientes, a fin de poder entender el adecuado manejo.

Es interesante volver a recordar que antes de los TNS habitualmente conocidos, ya existían electroestimuladores diseñados para electropuntura con capacidades y posibilidades muy semejantes a los de última generación. Los enfoques y teorías que respaldan el manejo de los electropuntadores son muy interesantes y enseñan nuevos caminos o estrategias no tratados en esta obra. No obstante, los equipos para electropuntura se basan en lo mismo que se ha dicho hasta ahora, con la salvedad de que la aplicación se puede hacer en las agujas insertadas en los tejidos, con intensidades bastante más bajas (límite de 10 mA). Algunos modelos disponen de salidas más potentes, además de las limitadas a 10 mA.



## CAPÍTULO IX

### Diadinámicas o moduladas de Bernard

Además de la descripción y exposición de las diadinámicas como método de tratamiento, este capítulo será interesante leerlo como resumen de lo dicho en los anteriores. Pues, aunque sea una técnica que tiende a caer en desuso, sus bases siguen vigentes y son los orígenes de otras ofrecidas como descubrimientos de actualidad.

Estas corrientes fueron diseñadas por el fisiólogo francés Bernard, quien las desarrolló buscando el efecto antiálgico y basándose en experiencias realizadas en la época por los «padres de la electroterapia».

Son corrientes de baja frecuencia. Básicamente dos, 50 y 100 Hz, aplicadas en distintas modulaciones o combinaciones entre ambas frecuencias fundamentales, por lo que reciben también el nombre de *moduladas de Bernard*.

#### Consecución de las corrientes diadinámicas

La forma de conseguirlas es muy fácil técnicamente y consiste en lo siguiente:

Disponemos de un transformador (Fig. IX. 1):

- a) que separe claramente el circuito de la red eléctrica del circuito aplicador, como medida de seguridad y

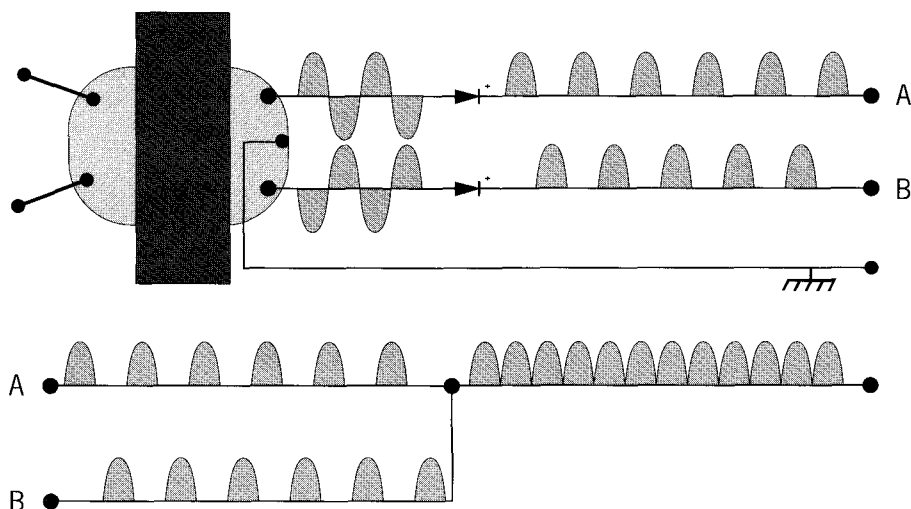


Figura IX.1

b) que nos reduzca la tensión y corriente de la red a nuestras posibilidades de aplicación, pero de forma que la salida de dicho transformador tenga una toma media y dos extremos para ser utilizados de la siguiente forma:

- la *toma media* como *masa* y
- los *extremos* como *conductores* o *fases* (todavía no son polos utilizables, por conducir corriente alterna).

Por ambos conductores (con respecto a masa) circula una corriente alterna de 50 Hz, pero de forma que la *onda positiva* de una *fase* coincida en el tiempo con la *onda negativa* de la *otra fase* (ver Fig. IX. 1).

### CONSECUCIÓN DE LA CORRIENTE POLARIZADA DE 50 HZ

Si utilizamos la *masa* y un conductor (A), de forma que intercalamos en el conductor un *diodo* (componente que sólo permite pasar las semiondas positivas), nos filtrará la corriente de manera que elimina todas las *semiondas negativas*, dando como resultante impulsos *positivos* de 10 ms separados por reposos de 10 ms:

$$1.000 \text{ ms} / 20 \text{ ms} = 50 \text{ Hz}$$

Las ondas emergentes del transformador, después del filtrado por el diodo, tienen subida progresiva, llegan al máximo y vuelven a bajar de la misma forma, obteniéndose ondas simétricas de subida y bajada exponencial: sinusoidales (Fig. IX. 3).

### CONSECUCIÓN DE LA CORRIENTE POLARIZADA DE 100 HZ

Si además sometemos al otro conductor (B) al efecto electrónico de un diodo, al conectarlos entre sí se obtiene otra corriente exactamente igual que la anterior pero diferen-

ciándose en que los impulsos de una fase o circuito coinciden con los reposos del otro circuito, de forma que: si se *unen ambas fases* (A y B) con sus respectivas ondas, se obtiene otra de 100 impulsos, de 10 ms cada impulso y sin reposo entre ellos (el estrechamiento en la parte alta de las ondas aparece destacando los «reposos en pico») (Fig. IX. 4).

Una vez conseguidas estas dos formas fundamentales, si a partir de aquí:

- las unimos;
- las separamos;
- las mezclamos según cadencias deseadas;
- las interrumpimos (en una fase o en las dos), etcétera;

obtendremos cuantas combinaciones se nos ocurran, pero Bernard las normalizó de la siguiente forma.

### BASE DE GALVÁNICA

Quede claro que ésta no es una de las modalidades de diadinámicas, sino una corriente galvánica en dosis baja que, a voluntad, puede aplicarse o no como base de la corriente diadinámica elegida. La intensidad se suele ajustar entre el 10 y el 20% de la intensidad de la diadinámica aplicada (Fig. IX. 2).

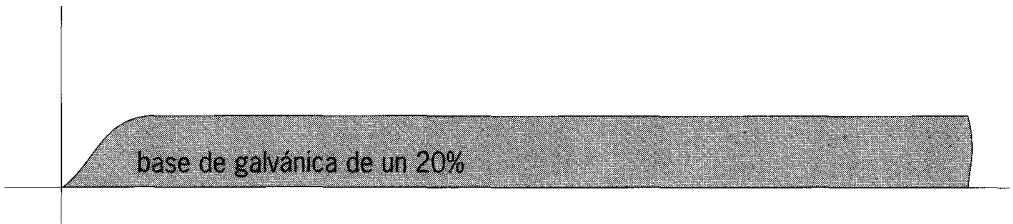


Figura IX.2.

### MONOFÁSICA FIJA (MF)

Se utiliza el circuito de una sola fase, resultando una corriente de 50 Hz con impulsos positivos sinusoidales de 10 ms y reposos de 10 ms. Corriente mantenida durante la sesión sin oscilaciones (Fig. IX. 3).

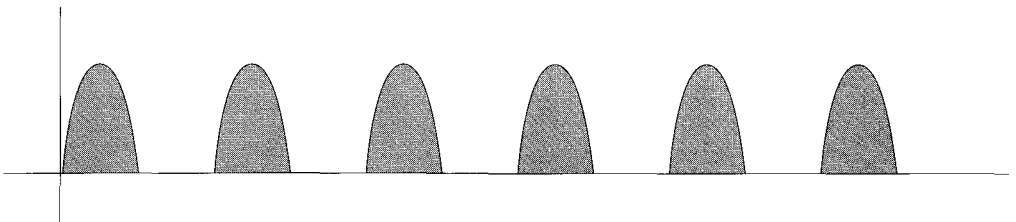


Figura IX.3.



## RITMO SIN COPADO (RS)

Solamente trabaja una fase con interrupciones o pausas a intervalos regulares de 1 sg. En consecuencia, se obtendrá una corriente monofásica de 50 Hz durante 1 sg y pausas de 1 sg. Estos tiempos y formas pueden oscilar según la construcción del aparato e, incluso tienen la posibilidad de ser regulados por el operador (Fig. IX. 7).

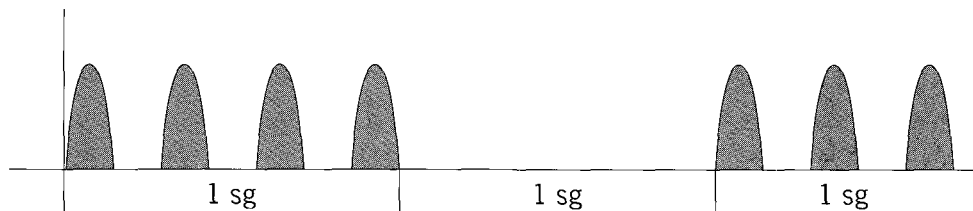


Figura IX.7.

Como se puede apreciar, este grupo de corrientes tiene mucha semejanza con el galvanismo (sobre todo si añadimos la base galvánica). Pero, a pesar de esto, mantienen un componente excitosensitivo y excitomotor, pudiendo utilizarse como analgésicas por ambas vías.

Como excitante sensitivo, y dada su forma de *impulsos sinusoidales* de 50 Hz (el llamado efecto de (E)stimulación (N)erviosa (T)ranscutánea ENT, en lugar de TNS del inglés), pierde en parte este poder de estimulación comparándola con impulsos cuadrangulares. Cuando se aplican MF, la sensación predominante es de estimulación con calambre eléctrico en lugar de hormigueo galvánico.

Ocurre lo mismo si pretendemos obtener efectos motores, pues los impulsos sinusoidales muestran menor poder para despolarizar la membrana en fibras motoras que los cuadrangulares, pero pueden considerarse aceptables. De igual forma, aunque se reduzcan los efectos polares e interpolares propios de la galvánica, éstos siguen manteniéndose en una alta proporción, circunstancia que nos obliga a considerarlos como corrientes con poder electroforético (alto componente galvánico, 33% la MF y 66% la DF).

La genialidad de Bernard consistió en conseguir un estimulador de forma muy simple y barata que cubre los efectos basados en cambios químicos, excitosensibilidad y excitomotricidad para luchar contra los dolores que a él se le presentaron.

## Efectos fisiológicos

Los efectos sobre el organismo se dividen básicamente en tres:

- por su componente galvánico;
- por su componente excitante o antiálgico vía sensitiva y
- por su componente antiálgico por vía de excitomotricidad.

Cada modalidad posee un componente predominante sobre las demás, aunque algunas compartan simultáneamente varios efectos. Veamos la siguiente tabla IX. 1, con un orden de predominio.



TABLA IX. 1

---

– EFECTO GALVÁNICO
• DF con base de galvánica
• LP con base
• CP con base
• MF con base
• RS con base

---

– EFECTO SENSITIVO
• CP sin base de galvánica
• RS sin base
• LP sin base
• MF sin base
• DF sin base

---

– EFECTOS MOTORES
• RS sin base de galvánica
• CP sin base con precauciones

---

**Pos su componente galvánico.** Tienen efecto sobre la circulación, sobre reacciones electrolíticas en los líquidos orgánicos, sobre el sistema nervioso (excitante o sedante según su polaridad). Efectos que ya se vieron ampliamente en el galvanismo.

**Pos su componente de impulsos para estimulación nerviosa sensitiva** (ver el capítulo de *Estimulación nerviosa transcutánea sensitiva y motora*). Aparecen nuevos mecanismos de respuesta sobre el organismo:

- en el sistema nervioso sensitivo y
- en el sistema nervioso motor (de fibra lisa o involuntaria).

Al aplicar diadinámicas, el paciente manifestará predominantemente la sensación de «calambre eléctrico», mientras que en el galvanismo se pueden sentir picores en la piel, hormigueos o calor.

Este estímulo sensitivo de calambre suficientemente intenso va a provocar que:

- las terminaciones o conducciones nerviosas tiendan a acomodarse a él y establezcan un umbral de sensibilidad más alto de lo habitual,
- que interfieran en conducciones de estímulos dolorosos reduciendo su número por el mecanismo de inhibición en las formaciones reticulares medulares (gate control),
- y que, también, si los estímulos son intensos, se desencadenen respuestas de autoanalgesia procedentes de los centros nerviosos cerebrales (formaciones reticulares cerebrales).

Este efecto **antiálgico** es debido al estímulo que producen los impulsos de la monofásica fija (MF), de los cortos períodos (CP) y largos períodos (LP) fundamentalmente. Los pacientes comentan que, después de recibir una sesión con corrientes diadinámicas, sien-

ten la zona adormecida (situación semejante a la conseguida con otros tipos de corrientes excitosensitivas).

Si nuestro propósito es el de interferir con eficacia la conducción de un estímulo doloroso, intentaremos superar su intensidad y además trataremos de mantenerla durante todo el tiempo de la sesión, ya que el sistema nervioso tiende a acomodarse (*acostumbrarse*) a cualquier estímulo homogéneo y duradero. La solución para evitarlo se basa en que la corriente aplicada *deje de ser* homogénea y duradera. Es por esto por lo que Bernard diseñó los *cortos y largos períodos*, introduciendo variaciones en su composición para tratar de evitar el fenómeno de acomodación (acostumbramiento al estímulo monótono).

Tanto el componente de galvanismo como el componente excitosensitivo van a influir en reacciones vegetativas generales, que tal vez no sean tan apreciables directamente bajo los electrodos, pero sí por otros mecanismos secundarios, cuando se estimulan zonas reflejas, mecanismos que revierten su acción sobre los núcleos de la base del cerebro, donde probablemente se desencadenen respuestas neurohormonales inhibitorias.

**Por su componente antiálgico motor y otros efectos sobre la musculatura.** Siendo corrientes compuestas por impulsos, desencadenarán contracciones para beneficiar o, por el contrario, trataremos de evitarlas para no causar daños. Es decir, si aplicamos MF o DF durante unos minutos y producimos contracción muscular sin dar opción al músculo para relajarse, causaremos fatiga muscular. Pero, si las mismas corrientes son aplicadas con la intensidad suficiente como para estimular al sistema sensitivo y no al motor, conseguiremos el efecto sensitivo a la vez que evitamos el motor no deseado.

En otras ocasiones, nos interesa que los músculos se contraigan por su efecto acelerador de la circulación de líquidos intramusculares y de la zona, debido al bombeo de las contracciones alternativas, apoyándose en la mejora de las condiciones nutritivas, efectos antiálgicos, antiinflamatorio y de reabsorción de edemas locales. Resultados que se pueden intensificar si no olvidamos otros factores derivados del componente galvánico por su efecto de *polaridad e interpolalidad*.

También nos interesará el efecto excitomotor en casos de contracturas prolongadas, hipotonías musculares, desbridamientos, movilización de tejidos no contráctiles, tales como: ligamentos, cápsulas y tendones. Todo ello reportará otros beneficios sobre el metabolismo y circulación, mediante mecanismos de masajes y movilizaciones de los tejidos no contráctiles desde dentro, es decir, desde las tensiones tendinosas por las contracciones musculares repetitivas. La modulada más adecuada para excitomotricidad, lógicamente, será el ritmo sincopado (RS), 1 sg de trabajo muscular y 1 sg de relajación.

## Círculo vicioso del dolor

La duración de los efectos tratando con diadinámicas no suelen prolongarse mucho en el tiempo (aunque dependerá de la patología tratada y del nivel de acierto o indicación y eficacia que consigamos), pudiendo ir desde unos minutos, horas, e incluso una sola sesión, para obtener resultados definitivos. Pero, aunque no resulten muy efectivas, son muy importantes para romper el círculo vicioso *que se inicia en el dolor agudo*, terminando de nuevo en dolor crónico (Fig. IX. 8).

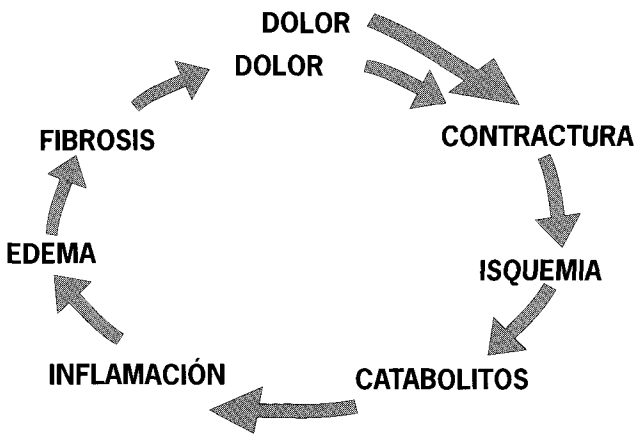


Figura IX.8.

Analizando detenidamente este «círculo vicioso» (el cual no siempre debe seguir este orden o cadencia) y considerando como estrategia de ruptura los *tres efectos fundamentales* enumerados antes, veamos cómo luchar contra cada manifestación o síntoma que nos podemos encontrar en un determinado proceso patológico.

## DOLOR INICIAL (AGUDO)

La referencia de dolor agudo está hecha para dar a entender que es el primer síntoma después de una agresión al organismo, causando daño y dando como primera respuesta consciente el dolor que, a su vez, puede desencadenar actitudes de defensa secundarias (Fig. IX. 9). Según el origen o la causa que lo produce, así tendríamos que enfocar su tratamiento.

*Dolor traumático y agudo.* Este tipo de dolor está producido por:

- la destrucción de tejidos en la zona lesionada (estímulo de nociceptores mecánicos) y
- la correspondiente liberación de sustancias que desencadenan el mecanismo de inflamación como defensa (estimulación de nociceptores químicos). Este dolor puede interesarnos reducirlo de dos formas: bien *abordando a las conducciones dolorosas por los nervios* con CP, LP, MF y DF; bien mediante los *efectos galvánicos polares o locales*, colocando el electrodo activo (ya veremos cuál) en la zona dolorosa con poca intensidad para no irritar más el foco. El otro electrodo más amplio tratará de buscar el efecto de *electroforesis* sobre los catabolitos, como pueden ser la histamina o la serotonina. En este caso seleccionaríamos las DF con base de galvánica.

En procesos agudos, en las aplicaciones con predominio galvánico, la polaridad debe ser positiva (+), dado que normalmente estaremos ante un proceso de inflamación aguda que nos interesa frenar con el ánodo:

- reduciendo el metabolismo;
- reduciendo el nivel de líquidos (coagulación);
- reduciendo el nivel de polarización celular y
- reduciendo el nivel de sensibilidad nerviosa.

Pero, si el proceso se encuentra subagudo o cronicado, puede interesar el cátodo (–) para rechazar de la zona a las sustancias irritantes atrapadas por los procesos edematosos inducidos, debido a la proliferación de macrocélulas, abundancia de fibrina y tendencia a la gelatinización del medio. Podemos reforzar este efecto antiinflamatorio aplicando una sustancia para tal fin a modo de *iontoforesis*.

***Asimismo, cuando el dolor es agudo, no nos interesa provocar contracciones musculares que movilicen los tejidos dañados, ya que éstos requieren reposo para facilitar su restauración morfológica y anatómica.***

*Dolor neurálgico.* Ante dolores producidos por compromisos o irritaciones de los nervios periféricos, apreciaremos gran variabilidad en los resultados, ya que, con frecuencia, hasta que no se evite la causa irritativa, el síntoma no se aliviará definitivamente. No obstante, podemos intentarlo buscando el efecto de saturación sensitiva o interferencia del dolor con LP, CP, MF y DF y aplicarlo a lo largo del trayecto nervioso, *cátodo distal y ánodo proximal*.

Otra modalidad estaría basada en el *efecto descendente* del componente galvánico para sedar y subir el umbral o polarización de las fibras y terminaciones nerviosas, con DF más base de galvánica, positivo craneal y negativo distal.

*Dolor crónico.* Este tipo de dolor puede proceder de multitud de causas, como:

- focos de alteraciones metabólicas;
- dolores por contracturas musculares;
- dolores de partes blandas articulares inflamadas;
- dolores artríticos;
- dolores neurálgicos.

Este dolor va a ser síntoma de respuesta a otra manifestación patológica que, como se irá viendo, en el momento de conseguir aliviar las referidas patologías que lo generan, tendrá inmediato resultado aliviador sobre esta forma de dolor. Este dolor tenderá a cronificarse y a formar el último eslabón del círculo vicioso, en lugar de ser el primero.

Luego, además de los esfuerzos realizados para eliminar los dolores crónicos, antes deberemos buscar una corriente que ataque directamente a la patología que los genera.

## CONTRACTURA

Si hemos conseguido aliviar el dolor de origen (desencadenante de los demás signos de respuesta), ya hemos dado el primer paso para romper el mecanismo de defensa que producía la contractura (Fig. IX. 9).

Por otra parte, tal vez, una de las mejores formas de luchar contra la contractura muscular, sea la de someter al músculo contracturado a contracciones seguidas de relajaciones alternativas, de forma que progresivamente:

- vaya aumentando el proceso de relajación por regulación del sistema alfa-gamma;
- bombeo y mejora del riego;
- aumento de la nutrición;
- producción de calor y agua;
- liberación del edema;
- renovación del líquido intersticial o linfático y su paso del estado de gel a sol.

Para todo ello, la modalidad de diadinámica más adecuada es el RS o, tal vez, CP, siempre que estos últimos permitan en una de las dos fases que el músculo pase a situación de relajación. Debemos colocar el *cátodo* como electrodo activo, debido a su mejor efecto excitomotor o de *cataelectrolono*, y el conjunto de ambos electrodos en busca de la mejor respuesta motora.

*Si la contractura es reciente, aguda y defensora de la lesión anatómica o dolor neurálgico, la aplicación de corrientes con efecto excitomotor provocará mayor dolor, más daño y más defensa. Así pues, este tratamiento por contracciones repetitivas se reserva para casos subagudos y crónicos.*

Cuando la contractura es prolongada, termina por alterar la biomecánica de las articulaciones:

- unas veces por hiperpresiones de cartílagos con el consiguiente proceso doloroso;

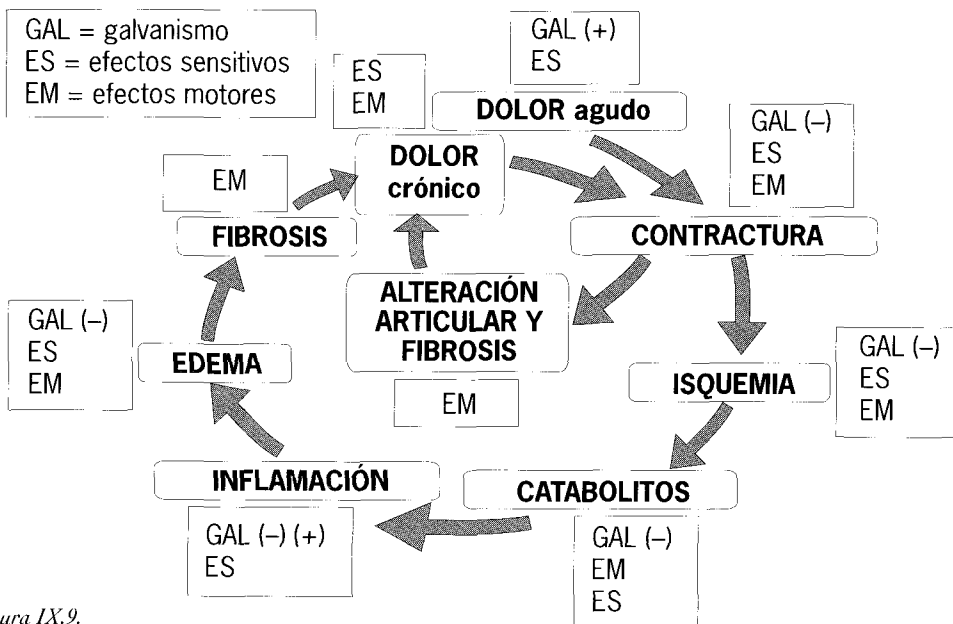


Figura IX.9.

- en otras son desviadas de sus ejes consiguiendo sufrimientos en las cápsulas y cartílagos;
- también terminarán fijándose en malposiciones (ejemplo muy frecuente en las vértebras), etcétera.

La mejor forma de luchar contra estas alteraciones posicionales de las articulaciones (alteraciones biomecánicas) se basará en relajar los músculos contracturados y movilizar repetidamente la articulación, por contracciones musculares también repetitivas, hasta que se normalicen. Aplicaremos RS.

## ISQUEMIA

Cuando una zona está bajo la influencia de contracturas musculares, lógicamente, presenta falta de riego por la compresión y aplastamiento de los vasos sanguíneos y colectores linfáticos, reduciendo su caudal y, consecuentemente, aumentando el edema que impide la circulación de retorno (Fig. IX. 9).

En esta ocasión vuelven a ser las contracciones activas del músculo y sus relajaciones alternativas las generadoras del *efecto de bombeo* mejorando la circulación. La corriente adecuada es el RS por lo que se refiere a las diadinámicas.

Los efectos polares e interpolares y la influencia galvánica de las diadinámicas (referidos en el galvanismo) tienen su importancia y pudiera convenir que, antes del ritmo sincopado, se apliquen localmente algunos minutos de DF con base de galvánica, buscando los efectos de *vasodilatación*, *iontoforético* y *licuefacción*, propios del cátodo en la zona interesada.

El ritmo sincopado posee una cadencia de 2 segundos (1 de contracción y 1 de pausa), creando un bombeo circulatorio bastante rápido. Se considera que si un músculo se mantiene fuertemente contraído de 5 a 6 segundos, quedaría mejor «exprimido» de los líquidos contenidos en los vasos circulatorios que le invaden, necesitando 10 o más segundos para que dichos vasos sean ocupados de nuevo en la relajación.

## ACÚMULO DE CATABOLITOS

Para eliminar sustancias procedentes de los residuos del metabolismo que no han sido retirados debido a una circulación inadecuada y no fueron reemplazados por nutrientes, lógicamente, necesitamos la adecuada mejora circulatoria y el reequilibrio iónico (Fig. IX. 9).

Habiendo resuelto los pasos anteriores, éste ya nos viene dado, pero si es preciso insistir sobre la eliminación de *catabolitos* por la excesiva formación de *gel* en un punto concreto, el efecto de *electroforesis*, *vasodilatación* y *licuefacción* por el cátodo es el más adecuado, con DF y base de galvánica, seguido de aplicaciones que conduzcan al efecto bombeo con RS.

## INFLAMACIÓN

Al surgir en una zona orgánica situaciones de alteración funcional, desequilibrio electroquímico, acidificación del pH, bajo metabolismo, fibrosis o induración de la zona debido

al edema y acúmulo de catabolitos, el organismo responderá con una actitud inflamatoria más o menos intensa (Fig. IX. 9).

Eliminando las causas que hacen reaccionar al organismo ante una agresión, evitamos o disminuimos la reacción de defensa (siempre que ésta sea exagerada) cerrando el círculo «en cascada», es decir: si liberamos los eslabones fundamentales, los demás vienen reducidos por sí solos.

La inflamación fundamentalmente puede ser:

- aguda o de respuesta inmediata;
- crónica o de respuesta poco potente a una agresión permanente;
- (existen otros tipos de inflamación que tal vez, ahora, no sea el momento de tratar).

## EDEMA

Debido al acúmulo de catabolitos en el líquido intersticial, se creará una presión oncótica alta, atrayendo hacia sí agua para mantener el nivel de disolución. Pero dicha disolución no puede ser renovada por el fracaso del riego sanguíneo y linfático, dando lugar a una situación edematosa localizada, la cual rápidamente comenzará a producir sedimentos o coagulación de electrolitos en el tejido intersticial, proliferación de fibrina y gelatinización. A la palpación detectamos induración de la zona (Fig. IX. 9).

Al aplicar el tratamiento y conseguir mejoras en los síntomas previos (pasos anteriores del círculo vicioso) la situación edematosa o inflamación edematosa disminuirá. En caso de iniciar el tratamiento atacando primero al edema, éste se basaría en la aplicación de una corriente excitomotora (RS en diadinámicas), colocando al paciente en una situación postural del miembro que facilite el efecto de bombeo y mejora en la circulación de retorno.

Cuando el edema se manifieste en forma muy localizada y con un grado de induración alto, se practica una aplicación sobre el foco con DF y base galvánica durante 4 ó 5 minutos, situando el cátodo sobre la zona buscando *vasodilatación, licuación y cataforesis*.

## FIBROSIS

Hablar de fibrosis es hablar de fracaso del sistema neurovegetativo, pues si las respuestas reparadoras y defensivas fracasaron con la inflamación, el organismo acude al mecanismo de aislar o bloquear la zona creando una red tridimensional de fibrina, que termina aislando la zona afecta y adhiriendo tejidos próximos entre sí, los cuales, se ven alterados en sus funciones nutricional, metabólica y biomecánica (Fig. IX. 9).

Si la zona indurada contiene abundante colágeno, éste constriñe los vasos circulatorios, siendo fundamental, en primer lugar, movilizar la zona para dar elasticidad al colágeno y después, batir los elementos electrolíticos contenidos en la red a fin de disociarlos y reabsorberlos.

Para movilizar y elasticar, aplicaríamos el RS a los músculos que más influyan y movilicen la zona interesada con el fin de que, finalmente, los sistemas circulatorios puedan evacuar sus contenidos.

El sistema circulatorio linfático es importantísimo en la evacuación de edemas, por lo que podemos acudir a dicho Sistema Circulatorio haciendo que sus vasos y colectores se contraigan mediante la técnica de *electrodos manopla*, la cual sale fuera de los cánones de la fijación de electrodos en un punto fijo.

La técnica sería como sigue (Fig. IX. 10):

- seleccionamos en el aplicador la corriente de RS (ritmo sincopado);
- se aplica un electrodo amplio en la zona de origen del plexo que inerva al miembro a tratar, que actuará de pasivo o ánodo (+);
- con sendos electrodos manoplas fabricados expresamente, tomamos uno en cada mano para desplazarlos sobre la zona del edema en forma de masaje superficial (de distal a proximal) a la vez que aplicamos la corriente, [negativo (-) en los dos electrodos manoplas].

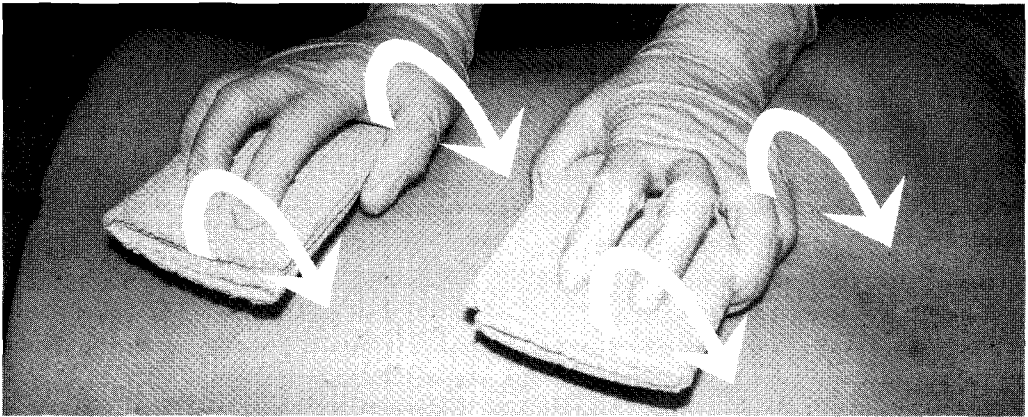


Figura IX.10.

Esta técnica tiene que cumplir condiciones importantes, tales como:

- la intensidad de la corriente debe ser moderada (superar el umbral sensitivo, pero sin riesgos de calambrazos molestos);
- velocidad de pasada lenta y sin presión (una cada 5 sg);
- ***nunca se debe interrumpir el contacto entre los electrodos manoplas y el paciente;***
- será mejor y más efectivo si se realiza con el paciente en un postural de elevación del miembro tratado;
- el deslizamiento de las manos no debe detenerse;
- si se usan las dos manos con sendos electrodos, éstos deberán partir del mismo conector. El otro electrodo se situará lejano a la zona a modo de masa o indiferente.

La técnica se basa en provocar contracciones de la musculatura lisa que forma las paredes de los vasos sanguíneos y linfáticos, de distal a proximal, como respuesta refleja a los estímulos sensitivos de la piel. Pero dado que su cadencia de contracciones sucesivas es muy lenta, se necesitan impulsos muy separados entre sí, por lo que, considerando al tren de 1 sg, a modo de impulso o ráfaga corta, conseguiremos contraer los vasos y colectores



inmediatamente debajo del electrodo; contracción peristáltica que irá evolucionando hacia proximal según avanzamos las manos.

Se puede elegir otra corriente del grupo de las diadinámicas (MF, CP) u otras que al fisioterapeuta le parezcan oportunas, pero el nivel o facilidad de tetanización de esta musculatura es alto; circunstancia que nos hace aplicar corrientes que permitan un cierto descanso o respiro en su trabajo, como pueden ser el RS o impulsos cuadrangulares de 10 a 20 ms separados entre sí 4 ó 5 segundos.

Todos estos procesos pueden parecer muy densos o quizás confusos, nada más lejos de la realidad, ya que, en definitiva, contando con los tres efectos fundamentales de las diadinámicas y con una estrategia basada en la previa exploración así como con la selección de corriente que mejor ataque al síntoma o síntomas dominantes, conseguiremos la eficacia pretendida.

Existen estimuladores de diadinámicas en el mercado que ofrecen posibilidades de cambiar automáticamente aplicaciones programadas desde su comienzo: hacen cambios de polaridad, paso de una corriente a otra, controles de la duración de los cambios y del programa, etc. Los programas de estos electroestimuladores están basados en las patologías más habituales y en cómo abordarlas con diadinámicas, según el predominio de unos síntomas u otros de los indicados en el reiterado círculo vicioso (Fig. IX. 9).

***En caso de no disponer de los referidos programas, cada fisioterapeuta debe pararse a pensar, ante un tratamiento, qué aplicar y cómo, partiendo de lo observado en el paciente y la zona a tratar.***

Esta vieja técnica está superada con creces por otros sistemas de electroestimulación que consiguen con mayor efectividad los tres efectos fundamentales (sensitivo, galvánico y motor), por lo cual, con otras corrientes que no sean las moduladas de Bernard o diadinámicas podremos hacer tratamientos semejantes o mejores (ver capítulo VIII).

Pero, como se comenta al principio, la genialidad de Bernard consistió en diseñar tratamientos efectivos si se practicaban con paciencia, pericia, tiempo y dominio de la fisiopatología.

Este capítulo nos servirá para hacer un repaso y resumen de los anteriores, referidos a galvanismo y estimulación nerviosa transcutánea sensitiva y motora.

***Las aplicaciones de diadinámicas en las que dejamos al paciente conectado a la máquina en una única modalidad durante 20 minutos son erróneas y peligrosas por su fuerte efecto galvánico.***

## **Precaución importante**

***Una salvedad, encontrada con cierta frecuencia, viene dada cuando nos hallamos ante procesos en los que se manifiesta una denervación con pérdida de sensibilidad y motricidad:***

- 1) en cuanto a la pérdida de sensibilidad, debemos tener muy presente que la falta de información de lo sentido por el paciente durante la sesión no es fiable, y, por tanto, la dosis debe pecar por defecto y controlar cuidadosamente la técnica para evitar quemaduras, dado el fuerte efecto galvánico que poseen algunas de estas corrientes. Consecuentemente, los componentes sensitivos y motores no serán utilizables;

- 2) Por lo que se refiere a la parálisis motora, nos puede romper los objetivos y nuestros planes de tratamiento. Por ejemplo, si pretendemos buscar el efecto bombeo por contracción de musculatura estriada, no lo hallaremos, ya que los músculos afectados por denervación no responderán a ninguna de estas corrientes, aunque se apliquen con intensidad alta.

## Metodología de tratamiento con diadinámicas

*Si no disponemos de un equipo aplicador de diadinámicas que nos permita programarlo, para que automáticamente realice sus cambios a lo largo de la sesión, con idea de aprovechar los tres efectos fundamentales referidos, nos veremos obligados a practicar tratamientos manuales, durante los cuales iremos cambiando los parámetros y colocación de electrodos según nuestros deseos, observaciones y experiencia.*

*No olvidemos que existe un aplicador manual específico para estas corrientes (Fig. IX. 11) que acompaña a los equipos de diadinámicas, el cual, contiene solidarios con él los dos electrodos debidamente aislados entre sí y el manubrio de aprehensión para manejar con una sola mano. Este sistema de electrodos permite modificaciones espaciales en la posición de los electrodos mediante rótulas giratorias semirrígidas. Dicho artilugio nos permite hacer cambios cada 3 ó 4 minutos buscando romper el círculo vicioso de acuerdo a la estrategia o protocolo que nos hayamos propuesto.*

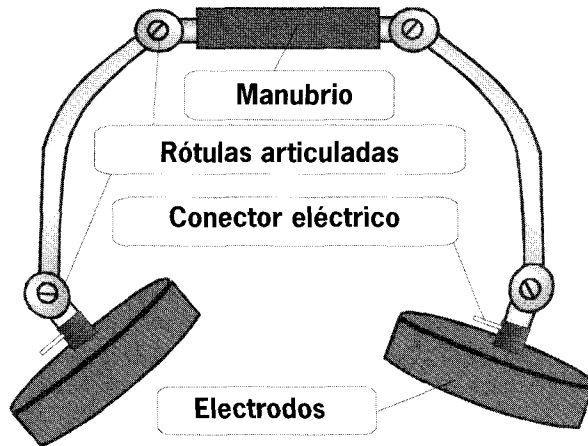


Figura IX.11.

No es pecar de reiteración volver a recordar que toda aplicación de diadinámicas que se practique con una única corriente durante 15 ó 20 minutos sin alternancias, estará prácticamente desaprovechada y correremos alto riesgo de quemadura, dado el importante componente galvánico de éstas. Es posible que el equipo generador de las corrientes disponga de programas y los utilicemos, pero si nos olvidamos de practicar cambios en la situación de los electrodos, la sesión seguirá estando carente de la adecuada precisión.

En cuanto a la colocación de los electrodos, tendremos en cuenta:

- *los trayectos nerviosos;*
- *el sentido, orientación y puntos motores de los músculos;*
- *zonas reflejas y puntos gatillo;*
- *la colocación en sentido longitudinal para nervios y músculos;*
- *colocación contralateral para efectos galvánicos o estimulación sensitiva de la metámera por ambos lados.*

Cuando se desee que un electrodo tenga preferencia de actuación sobre el otro, el activo debe ser más pequeño, pero como en bastantes ocasiones se *debe* invertir la polaridad, trabajaremos con electrodos de igual tamaño.

En cuanto al tema de nomenclatura, en ocasiones coinciden siglas, abreviaturas o denominaciones con otras corrientes de posterior aparición. Así, por ejemplo, hablar de *difásicas* puede referirse a difásicas fijas del grupo de diadinámicas o a corrientes que están formadas por ondas positivas y negativas simultáneamente. Entonces, quedará resuelto con la expresión *bifásicas* para estas últimas. También la abreviatura MF puede significar monofásicas fijas o moduladas en frecuencia. Y la misma expresión de *moduladas* se emplea con frecuencia en otras modalidades de corrientes: moduladas de Adams, moduladas en amplitud, moduladas en frecuencia, moduladas de Nemec. La expresión *modulación* significa cambios o modificaciones repetitivas en una corriente a lo largo de la sesión.

## Métodos de aplicación y colocación de electrodos

Deben estar orientados por el componente terapéutico fundamental y una adecuada programación de cambios lógicos tanto de polaridad como de forma de corriente, de zona de colocación de los electrodos, etcétera.

En la tabla IX. 2 se trata de resumir lo antes expuesto tomando como referencia el círculo vicioso reflejado en la (Fig. IX. 9). Si atribuimos valoración cuantitativa a la efectividad (aunque ésta depende mucho de cada caso y apreciaciones personales de cada terapeuta), a título orientativo, aquí queda reflejada la siguiente hipótesis de trabajo sobre la efectividad de estas corrientes, aunque también podemos hacerla extensible a otras técnicas semejantes.

TABLA IX. 2

Efecto	Síntoma	(*)	Por efecto	Polaridad
<b>GALVÁNICO</b> (El electrodo activo más pequeño) DF, LP, MF con base galvánica	Dolor	1	descendente, pH	(+ -)
	Contractura	1	sedación nerviosa	(+ -)
	Isquemia	3	calor de la corriente	(+ -)
	Catabolitos	3	electroforesis	(-)
	Edema	2	licuefacción	(-)
	Inflamación	2	electroforesis	(-)
	Fibrosis	1	electroforesis	(-)
<b>EXCITOSENSITIVO</b> (ambos electrodos pueden ser de igual tamaño) LP, CP, MF sin base galvánica	Dolor	2	puerta o interferencia	(+ -)
	Contractura	2	al quitar dolor	(+ -)
	Isquemia	3	calor e irritación	(-)
	Catabolitos	2	electroforesis	(-)
	Edema	2	aumento de riego	(-)
	Inflamación	1	los anteriores	(+ -)
	Fibrosis	1	aumento del riego	(-)
<b>EXCITOMOTOR</b> (los electrodos pueden ser de igual tamaño) RS sin base de galvánica	Dolor	3	muscul. y capsular	(-)
	Contractura	3	contracción-relajación	(-)
	Isquemia	3	bombeo	(-)
	Catabolitos	2	bombeo	(-)
	Edema	3	bombeo	(-)
	Inflamación	2	las anteriores	(-)
	Fibrosis	3	contracción-relajación	(-)

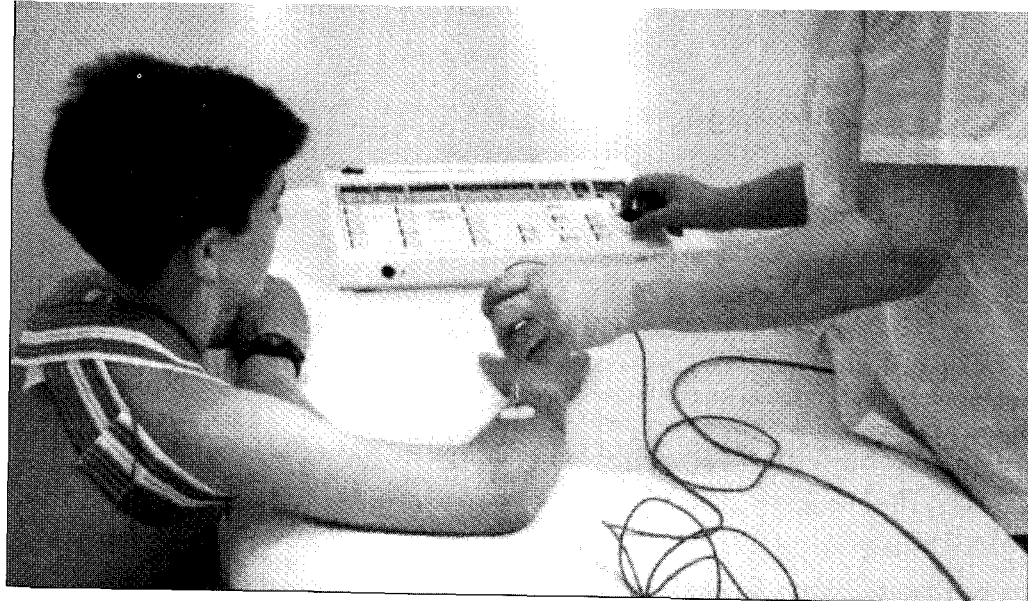
**G ES EM**

Dolor	1 + 2 + 3 = 6	dependiendo del tipo de dolor
Contractura	1 + 2 + 3 = 6	dependiendo del nivel de fibrosis
Isquemia	3 + 3 + 3 = 9	fundamentalmente bajo los electrodos
Catabolitos	3 + 2 + 2 = 7	fundamentalmente bajo el cátodo
Edema	2 + 2 + 3 = 7	depende de profundidad y extensión
Inflamación	2 + 1 + 2 = 5	secundariamente, sería mayor
Fibrosis	1 + 1 + 3 = 5	depende del nivel de contracción

13 13 19 45 (\*\*)

(\*) Este valor numérico indicaría el grado de actuación directa que se atribuye a cada *efecto predominante* sobre cada uno de los componentes del *círculo vicioso*, calibrando de 1 a 3 (1, como débil; 3, como máximo).

(\*\*) Es interesante observar cómo en las sumas parciales (según esta hipótesis de trabajo), el valor de los efectos motores es superior al galvánico y al sensitivo.



## CAPÍTULO X

### **Efecto excitomotor curvas de respuesta fisiológica: intensidad tiempo (I/T) y acomodación tiempo (A/T)**

Es básico que los fisioterapeutas recuperemos una vieja técnica exploratoria basada en las respuestas fisiológicas y fisiopatológicas del conjunto neuromuscular.

Esta técnica se usó como medio de establecer diagnósticos antes de que apareciera la electromiografía. Una vez desarrollada ésta, se creó la polémica para el desprestigio de la primera por poco fiable.

*Los fisioterapeutas debemos apartarnos de dicha polémica y olvidarnos de su función diagnóstica; pero sí debemos emplearla para averiguar y depurar nuestros tratamientos, pues en las gráficas trazadas obtendremos muchas informaciones fundamentales para el mejor tratamiento, seguimiento de la evolución y entender el porqué y cómo de toda la electroterapia de baja y media frecuencia, tanto motora como sensitiva.*

#### **Efecto excitomotor**

Uno de los importantes fenómenos o efectos que produce la aplicación de corrientes eléctricas sobre el organismo consiste en conseguir que los músculos deseados se contraigan voluntariamente, entre otras razones, porque el paciente es incapaz de lograr tal efecto por sí solo.

Si un músculo o nervio se encuentra afectado por un proceso patológico, éste va a perder en mayor o menor grado su capacidad de trabajo. Si la patología consiste en denervación,

el músculo dejará de contraerse, lentamente perderá su metabolismo propio de fibra muscular y terminará degenerando en otro tejido fibroso que sustituya al tejido muscular (degeneración Walleriana). Lo mismo se puede decir de procesos metabólicos graves y prolongados, contracturas mantenidas largo tiempo, inmovilizaciones articulares prolongadas, edemas severos, etcétera.

Cuando esto sucede, nos queda el recurso de intentar contracciones del conjunto *neuro-músculo* con métodos diferentes al fisiológico y externos al propio organismo o voluntad del paciente. Ello será mediante estímulos eléctricos aplicados por vía transcutánea.

Cuando el cerebro desea producir una contracción muscular:

- 1) Genera impulsos eléctricos que son conducidos por la neuronas eferentes.
- 2) Son controlados en número, forma e intensidad, coordinados y dirigidos por las vías adecuadas a los axones correspondientes, mediante activaciones e inhibiciones selectivas en las sucesivas sinapsis contiguas.
- 3) El impulso llega por las distintas terminaciones axónicas hasta las *sinapsis*, localizadas entre terminaciones nerviosas y fibras musculares, separadas por un espacio donde el estímulo eléctrico genera la acetilcolina (placa motora).
- 4) La acetilcolina produce cambios químicos en la membrana de la fibra muscular, haciendo que ésta conduzca los iones despolarizándose y generando su correspondiente trabajo (la contracción).

Si esto no sucede así, tendremos que aplicar, vía transcutánea, impulsos eléctricos (**semejante a los neurológicos, o si éstos no lo consiguen, aplicar justo los adecuados**), con el fin de recuperar o, al menos, mantener activo el metabolismo propio del sistema *neuro-músculo* durante el tiempo que dure la patología.

Para poder llevar a cabo este cometido, lo primero es:

- averiguar en qué estado se encuentran el tejido nervioso o el muscular;
- de qué patología se trata;
- qué tipo o forma de impulso es el mejor;
- qué separación debe existir entre cada impulso;
- qué tiempo debe durar cada impulso;
- qué capacidad de acomodación mantiene la célula, etcétera.

Parámetros que se obtienen con la exploración que a continuación se explica, la cual nos aportará abundante información sobre el estado excitomotor de los nervios y músculos.

## Curvas Intensidad/Tiempo y de Acomodación/Tiempo

Cuando el conjunto neuromúsculo se encuentra alterado en su función normal, necesita impulsos de mayor intensidad y amplitud para conseguir la despolarización de sus membranas celulares. Lo mismo ocurre con la anchura del impulso, que debe ser más larga. También, el tiempo de repolarización de membrana se enlentece y, en consecuencia, los impulsos tendrán que separarse entre sí hasta el punto de no poder conseguir una con-

tracción mantenida, ni tan siquiera una por segundo. Además, se pierde la capacidad de acomodación ante impulsos de subida rápida (que ya veremos más adelante).

La curva *intensidad/tiempo* o curva «I/T» y la curva *acomodación/tiempo* o curva «A/T» consisten en la obtención de dos curvas sobre papel adecuadamente graficado o cuadrícula, reflejando la respuesta de contracción de un músculo o nervio ante diversos impulsos eléctricos variando su forma, su duración y su intensidad.

Luego, el material fundamental y necesario para obtener dichas curvas son dos elementos:

- un equipo de electroestimulación que lo permita y
- una gráfica preparada para tal fin.

### Características del electroestimulador

Las características fundamentales de un aparato adecuado para la consecución de impulsos eléctricos, con efecto *excitomotor*, que nos permitan dicho examen son las siguientes (Fig. X. 1):

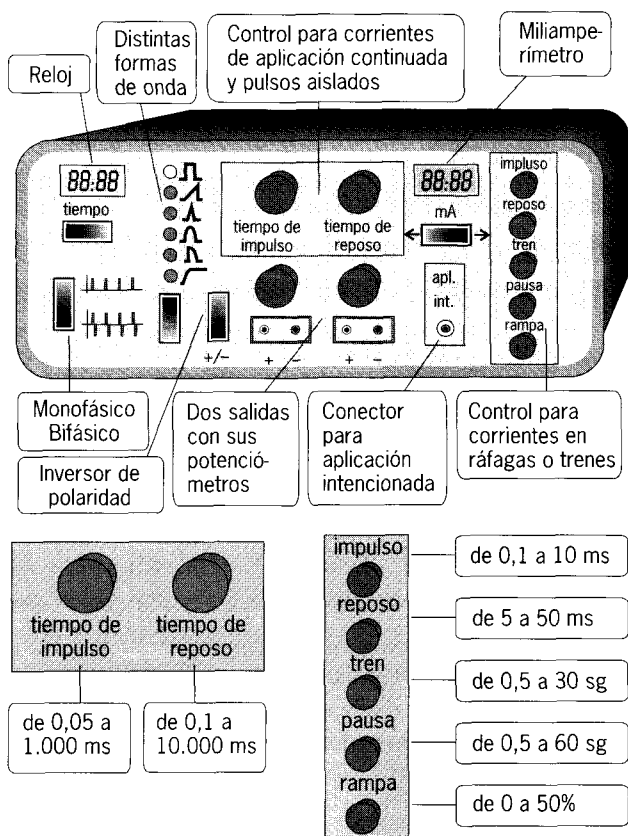


Figura X.1.

- Posibilidad de producir, al menos:
  - a) impulsos de subida y bajada brusca, *cuadrangulares e*
  - b) impulsos de subida progresiva y bajada brusca, *triangulares*.
- Selector de corrientes para poder elegir, al menos, entre:
  - a) aplicación de impulsos aislados y
  - b) aplicación de impulsos agrupados en trenes.
- Un buen regulador de tiempo de impulso comprendido entre 0,05 y 1.000 ms.
- Un buen regulador de tiempos de reposo entre impulsos que cubra desde 0,1 a 10.000 ms.
- Un regulador de tiempo para duración de los trenes.
- Un regulador de tiempo de pausas entre trenes.
- Un regulador de rampa para ajustar las subidas y bajadas de los trenes.
- Un buen regulador de intensidad aplicada.
- Un buen miliamperímetro que indique la intensidad aplicada en cada pulso y refleje un valor fiable.
- Cambio de polaridad.
- Conector para mando de aplicación intencionada.
- Electrodo adecuados:
  - dos pequeños de igual tamaño;
  - uno grande y otro pequeño, y
  - uno grande y otro puntual o de exploración manual.

## Características de la gráfica

La gráfica debe constar de un eje de abscisas en el que irán marcados los tiempos de duración de los impulsos aplicados, desde 0,05 hasta 1.000 ms, y un eje de ordenadas donde se refieren los valores correspondientes a la intensidad, llegando hasta 80 mA.

La gráfica puede ser (Fig. X. 2):

- a) de *progresión lineal* en sentido ascendente y *logarítmica horizontal*, o
- b) de *progresión logarítmica en ambos sentidos*.

Cada gráfica presenta sus ventajas y desventajas:

- 1) La *lineal* resulta fácil de obtener aunque sea *autodiseñándola*. Además, señala con mayor detalle los accidentes que muestre la curva analizada, siempre que dichos accidentes correspondan a las zonas en que la gráfica de *progresión logarítmica* tenga sus valores de referencia muy juntos, como es el caso de las intensidades inmediatamente por debajo de 10 mA y las cercanas a 80 mA.



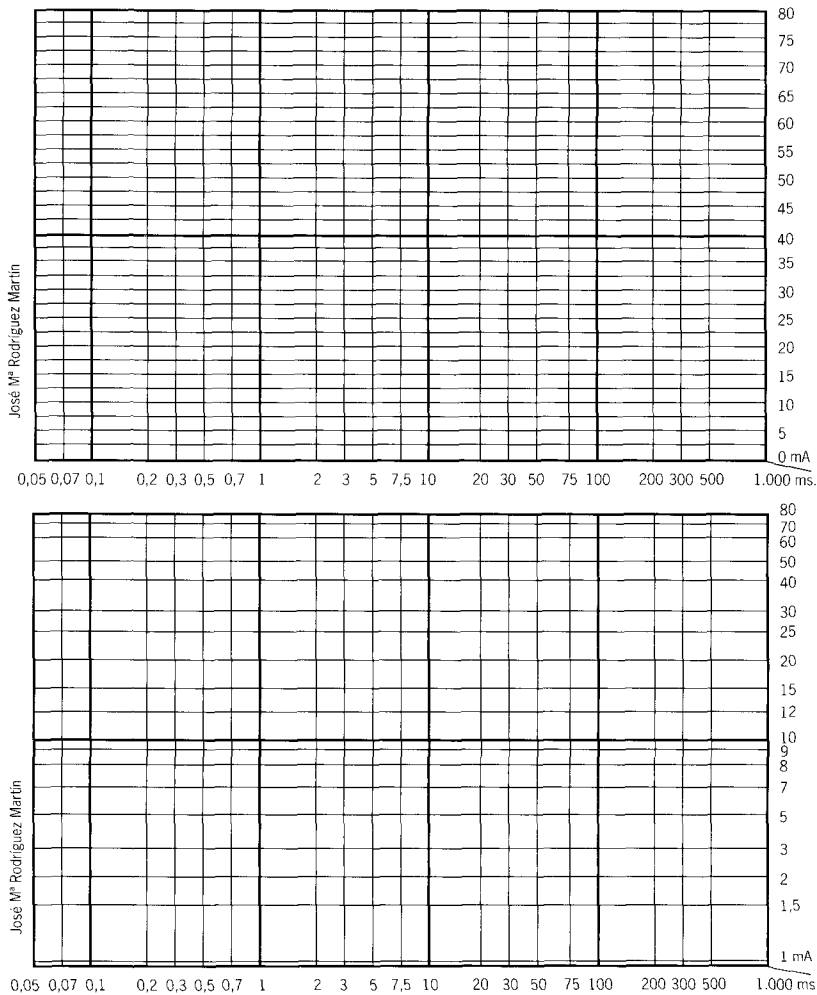


Figura X.2.

- 2) La logarítmica es difícil de autodiseñar, corriendo el riesgo de hacerlo mal. Sobre ésta resaltan con más detalle las alteraciones o accidentes sobre la curva estudiada, siempre que los parámetros de intensidad se encuentren inmediatamente por encima de 10 mA o inmediatamente por encima de 1 mA.

Algunas obras escritas sobre el tema utilizan exclusivamente la gráfica de progresión logarítmica, aunque en los orígenes de la electroterapia se usaron más las gráficas de progresión lineal. Asimismo, encontramos gráficas que inician sus valores de tiempo en 300 ms.

El hecho fisiológico en el que se apoya esta exploración consiste en que un sistema «neuromúsculo normal» manifiesta una respuesta de contracción, de forma que:

**Cuando el tiempo de duración del impulso disminuye, tendremos que aumentar la intensidad para conseguir la misma respuesta** (Fig. X. 3). Mas esto ocurre a partir de un cierto valor en el tiempo, de manera que con tiempo largos no cambia la intensidad;

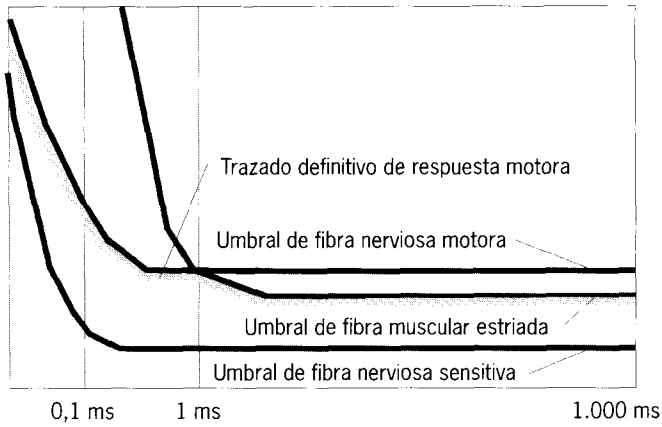


Figura X.3.

pero con tiempos cortos la intensidad tiende a aumentar cuando disminuye la anchura de pulso.

Si estos parámetros se expresan en su gráfica, obtenemos una curva parabólica invertida, pudiendo decir que es característica y regular, la cual, a su vez, se altera si el músculo o nervio están alterados por alguna patología.

En la (Figs. X. 3 y en la X.10) se representan tres curvas diferentes. Si eliminamos la sensitiva, nos quedan las motoras. Si ahora borramos los trazados más altos de las dos, veremos dibujado un trazado definitivo formado por las líneas más bajas de ambas o curva definitiva (zona sombreada). Desde la zona de cruce a la derecha, se representa el músculo y hacia la izquierda el nervio.

Luego la exploración se puede realizar sobre:

- músculo o
- nervio.

La exploración del nervio puede hacerse para averiguar su capacidad de respuesta sensitiva o respuesta motora, aunque esta última es difícil disociarla de la respuesta de fibra muscular, a no ser que la fijación de los electrodos se localice muy precisa en puntos de respuesta nerviosa (puntos motores nerviosos).

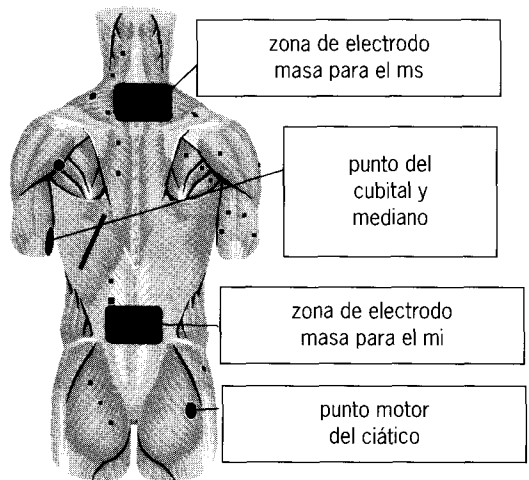


Figura X.4.

### Formas de obtener las curvas

En cuanto a la situación de electrodos, se puede realizar por el método *monopolar* o *bipolar*:

En el *monopolar* (Fig. X. 4) se coloca un electrodo amplio que actúe de masa en

una zona a distancia del músculo estimulado (suele localizarse en el plexo que lo inerva) y el otro electrodo, pequeño, en el punto motor nervioso o muscular. Este lugar tendremos que buscarlo antes de elegir definitivamente el punto de colocación del electrodo. Normalmente, el cátodo (-) distal.

Por el método *bipolar* (Fig. X. 5) se sitúan los electrodos de similares dimensiones (preferentemente el distal más pequeño) en el origen y terminación de las fibras musculares (que no de los tendones). Normalmente, el cátodo (-) distal, aunque conviene probar la inversión de polaridad.

*Se procede a la localización del mejor punto motor para la respuesta excitomotriz del músculo o del nervio. Esto puede hacerse con impulsos cuadrangulares de una duración comprendida entre 1 y 10 ms separados entre sí de 2 a 3 segundos, siempre que el conjunto neuro-músculo que va a explorarse no aparezca denervado. Si nos hallamos ante una denervación, el punto motor lo buscaremos con impulsos de subida progresiva aislados de 100 a 500 ms, tratando de localizar el triángulo de utilidad terapéutica, que más adelante veremos.*

Una vez dispuestos a la consecución de cada curva, después de localizar los puntos motores, no se deben mover los electrodos con el fin de conseguir parámetros fiables a lo largo del tiempo que dure el total de la exploración.

Se comienza por el trazado de la curva de *intensidad/tiempo* o *cuadrangular*, de forma que seleccionamos inicialmente en el aparato aplicador impulsos de *subida rápida* o cuadrangulares con 1.000 ms de duración y un espacio entre ellos de 1 a 3 sg (suficiente como para considerarlos aislados entre sí).

Se aumenta la intensidad lenta y progresivamente hasta detectar (mediante palpación) unas leves pero claras contracciones musculares, momento en el que tomaremos nota de la intensidad marcada por el miliamperímetro para trasladarla a la gráfica, mediante un punto en la coordenada donde se cruzan la vertical al tiempo elegido en ms y la horizontal a la intensidad.

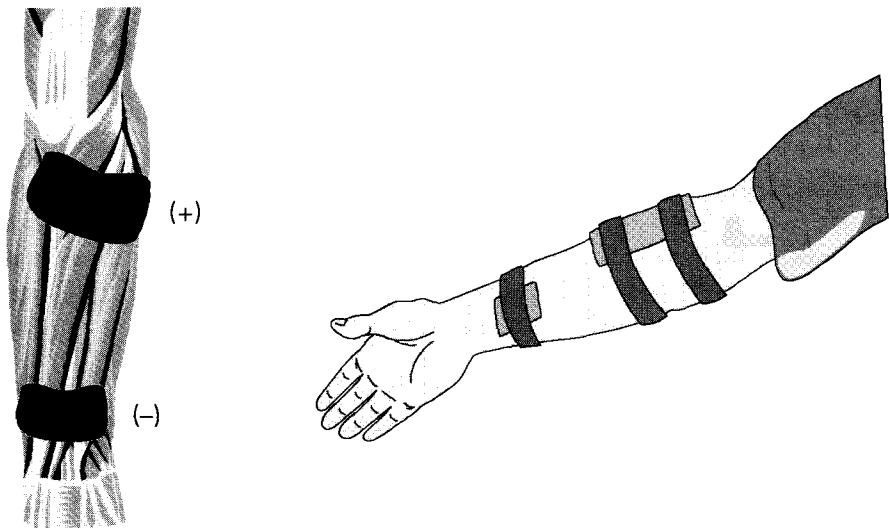


Figura X.5.

Sucesivamente, se repite lo mismo con otro tiempo inmediatamente inferior hasta completar los señalados en la gráfica con sus puntos correspondientes, los cuales se unirán con una serie de rectas sucesivas (*no de una curva continuada y redondeada*) (Fig. X. 6).

*Es importante dedicarse a la observación directa de la respuesta de contracción sin estar pendiente de lo marcado por el miliamperímetro, hasta que hayamos decidido que la respuesta palpada es suficiente. Después, se lee el miliamperímetro y se toma nota de lo señalado; mejor así para evitar subjetividades, pues si estamos con la vista puesta en los miliamperios, podemos decidirnos por un valor determinado, ya que esperamos más la respuesta deseada que la detectada.*

Dado que los pulsos muy largos molestan al paciente, debemos estar raudos en los primeros puntos (entre 1.000 ms y 100 ms). Cuando se adquiere práctica, normalmente se cambian los tiempos de pulso, acortándolos, hasta notar que se pierde la respuesta con la intensidad inicial. En ese punto volvemos atrás para recuperar la respuesta motora con la intensidad ajustada de inicio. Ya tenemos una línea recta entre 1.000 ms y el punto útil (que más adelante veremos). Este atajo se utiliza únicamente en las curvas I/T o cuadrangulares.

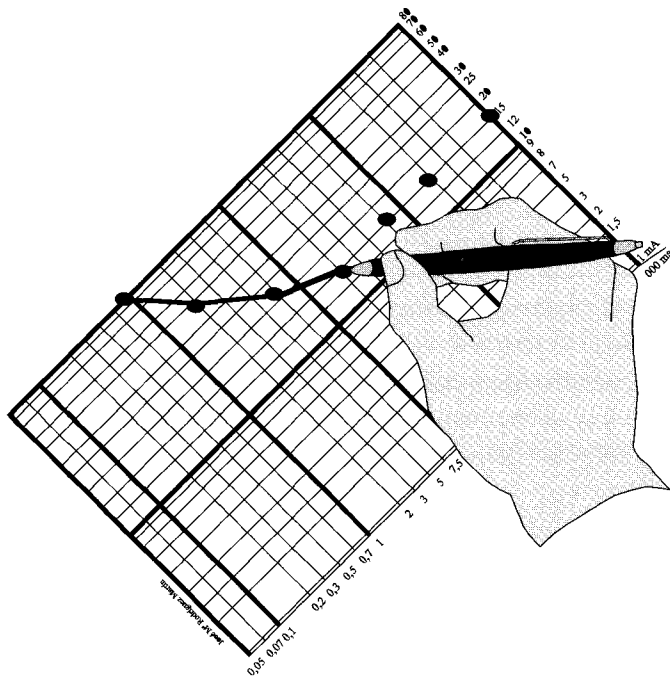


Figura X.6.

Hacemos lo mismo para obtener la curva de *acomodación/tiempo* con impulsos de subida progresiva hasta completarla, a la que llamaremos de *acomodación* o de *subida progresiva*. **Se dibujará en la misma gráfica.**

Ambas curvas se han obtenido de forma que los impulsos fueron largos al principio y se fueron descendiendo progresivamente hasta el menor (desde 1.000 ms hasta 0,05 ms). Pero, a nivel práctico, es recomendable comenzar ambos trazados con 300 ó 400 ms, finalizando los extremos de la derecha por aproximación o haciendo búsquedas rápidas de la posible intensidad, debido a que los tiempos largos suelen resultar molestos para el paciente, **sobre todo en la curva de acomodación con los triangulares.**

Luego, la curva A/T o de triangulares, se realizará comenzando por pulsos de unos 300 ms: buscamos la intensidad y la respuesta, bajamos la intensidad, pasamos 200 ms, buscamos y bajamos la intensidad, pasamos al siguiente valor menor, etc. Después de terminar por la izquierda, volvemos a 500 y 1.000 ms para, rápidamente, concluir la con la menor molestia posible.

*Es importante discriminar la palpación de la contracción perteneciente a los músculos explorados para no confundirla con la respuesta de otros músculos próximos. Si realizamos la exploración basándonos en la palpación de la respuesta contráctil, tendremos que entrenarnos adecuadamente, fijarnos bien en la respuesta considerada como buena y, por último, saber que las contracciones musculares de los impulsos largos son ligeramente distintas a las contracciones de los impulsos cortos.*

Las curvas I/T-A/T de un músculo normal son distintas de las curvas de otro afectado por alguna patología y, dentro de ellas, diferenciaremos las que fundamentalmente nos van a indicar:

- el tipo de lesión;
- el grado de la lesión;
- *el tipo de estímulo adecuado, en forma y tiempo, que debemos aplicar para su tratamiento;*
- *el reposo o separación entre impulsos;*
- *si podemos provocar contracciones mantenidas y*
- *si, por el contrario, nos vemos obligados a que las contracciones se realicen aisladas.*

En los casos donde deseemos explorar afecciones por denervación seria, es recomendable comenzar por la curva de *acomodación*, con el fin de detectar la respuesta adecuada del músculo afecto y no la de los próximos, en mejor estado, que nos pueden llevar a error. Fenómeno que más adelante se entenderá.

Las curvas (dentro de unos márgenes) tienen sus parámetros característicos, que nos van a servir como puntos de referencia para comparar los distintos resultados obtenidos en las sucesivas exploraciones que se realicen; parámetros en los que nos fijaremos para hacer el estudio de dichos resultados.

## **Parámetros característicos de la curva con impulsos cuadrangulares (I/T)**

*Antes de seguir, es necesario volver a recordar que más que curvas, son una sucesión de rectas uniendo los puntos consecutivos entre sí, fenómeno importante como más adelante iremos viendo (ver Fig. X. 6).*

La representación de esa curva nos indica cómo responde una fibra nerviosa o una fibra muscular ante estímulos eléctricos bruscos e invasivos que provoquen la despolarización de membrana con la mayor eficacia posible (Fig. X. 7).

La siguiente curva (Fig. X. 8) está trazada tomando como referencia los parámetros de normalidad. Los más sobresalientes que nos va a mostrar esta curva son los siguientes:

- **rama reobásica;**
- **rama cronácica;**
- **reobase;**
- **punto de tiempo útil muscular;**
- **cronaxia;**

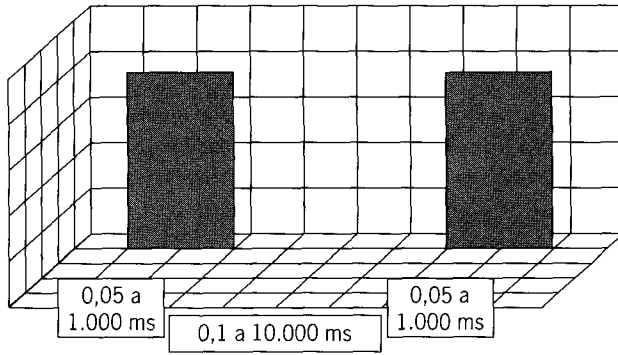


Figura X.7.

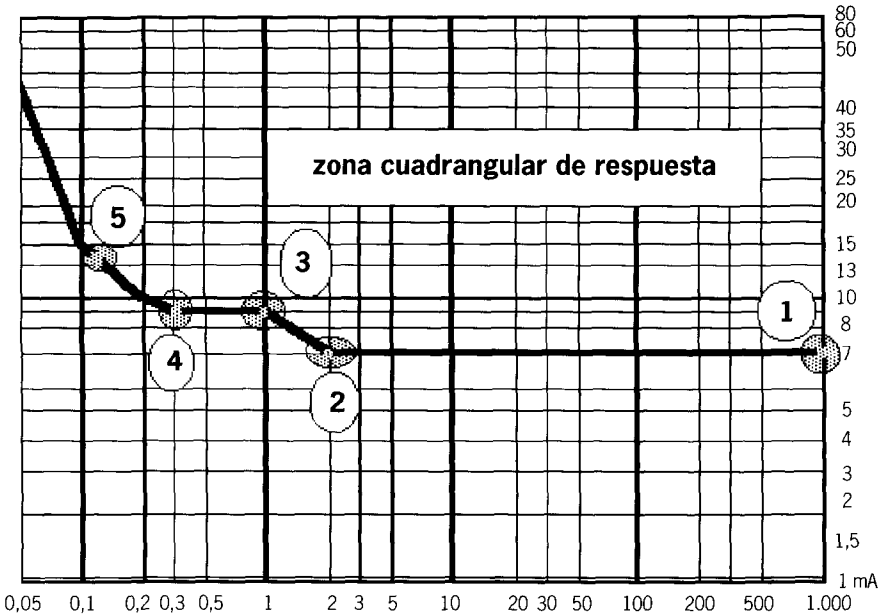


Figura X.8.

- punto de tiempo útil nervioso;
- escalones;
- punto de faradización;
- zona cuadrangular de respuesta.

- 1) **Reobase** (Fig. X. 8). Es la *intensidad* mínima necesaria para producir contracción con un impulso cuadrangular de 1.000 ms.
- 2) **Punto o tiempo útil muscular** (Fig. X. 8). Es el *tiempo* correspondiente al punto en el que la curva comienza su ascenso. Indica el tiempo del impulso óptimo para emplear como tratamiento directamente sobre fibra muscular. Los valores en músculos normales se encuentran entre 1 y 10 ms.

Lógicamente, si se utiliza este tiempo como impulso de tratamiento, la intensidad deberá ser mayor a la reobase, ya que en el tratamiento no buscamos la respuesta mínima, sino la mayor eficacia y contracción posible sin producir molestias o daños.

Este punto útil se desplazará progresivamente hacia arriba y hacia la derecha de la gráfica cuanto mayor sea el grado de denervación. Pero si la patología no es por denervación, el punto útil se desplazará hacia arriba fundamentalmente, indicando alteraciones de fibrosis musculares mientras se mantiene buena la actividad nerviosa.

3) **Umbral farádico** (Fig. X. 8). Es el mínimo de *intensidad* necesaria para la respuesta motora con un impulso cuadrangular localizado en el escalón. Este punto también se puede trazar sobre la curva de subida progresiva. **El valor medio que se emplea como tiempo de impulso en las farádicas es 1 ms.**

4) **Punto o tiempo útil nervioso** (Fig. X. 8). Es el *tiempo* correspondiente al punto en que la curva reinicia el ascenso después del escalón que habitualmente nos encontramos. Indica el tiempo de impulso óptimo para emplear como tratamiento directamente sobre fibra nerviosa. Los valores en fibras normales se hallan entre 0,1 a 1 ms.

El umbral de faradización queda marcado por el vértice del escalón, donde coinciden los niveles de respuesta muscular y nerviosa.

5) **Cronaxia** (Figs. X. 8 y 9). Es el *tiempo* que viene dado por el doble del valor de la reobase. Es decir, se calcula el doble de la intensidad de la reobase, marcamos dicho valor con un punto en el trayecto de la curva, donde la vertical, al punto marcado, es el valor de *tiempo* correspondiente a la cronaxia.

El tiempo de cronaxia se empleaba como dato *cuantitativo* (junto con otros) de diagnóstico. Pero, como fisioterapeutas, puede resultar un valor poco relevante, a no ser

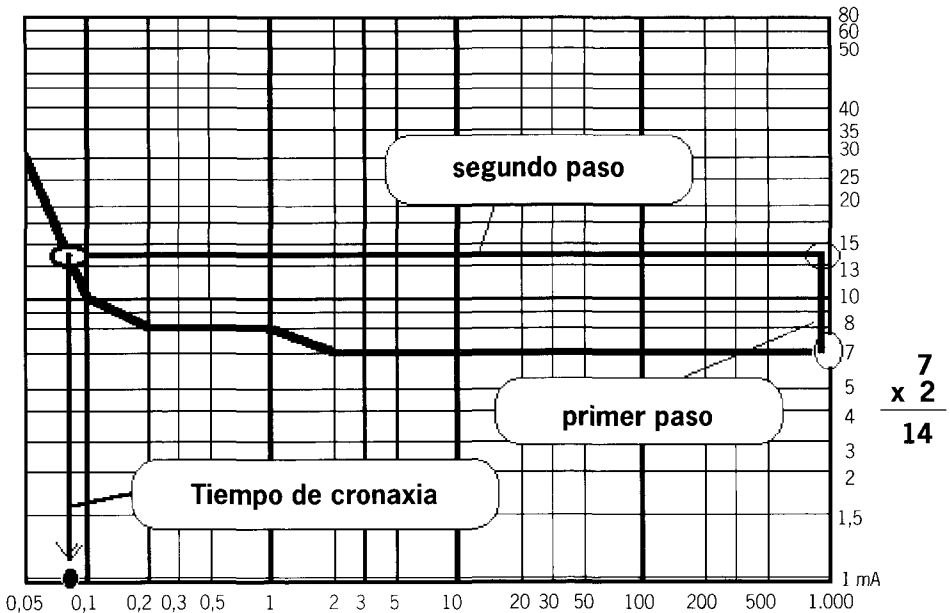


Figura X.9.

que tomemos dicho valor como tiempo de impulso para diseñar algunas corrientes, como así lo sugieren algunos autores y escuelas.

Tiene relación directa con la altura de la reobase, con el grado de inclinación de la rama cronáxica y con la longitud de la rama reobásica. Su valor normal está comprendido entre **0,05 y 0,1 ms**. A título orientativo, podríamos resumir diciendo que un sistema neuromúsculo está:

- *Débilmente afectado* = valor normal · 3.
  - *Francamente afectado* = valor normal · 6.
  - *Muy afectado* = valor normal · 30.
  - *Totalmente afectado* = valor normal · 30 o más.
- 6) **Rama reobásica** (Fig. X. 9). Es el *tramo de la línea cuadrangular* que va desde el punto de tiempo útil muscular hasta el punto de reobase. Siempre es recta y limitada por el punto de tiempo útil y la vertical de 1.000 ms. Su falta de homogeneidad consiste en la mayor o menor longitud y altura en la gráfica.

La longitud media delimitada por el punto útil para respuesta de normalidad se encuentra entre la vertical de 1 a 10 ms.

La altura media oscila (dependiendo del método y perfección de la exploración) entre 5 y 10 mA:

- *Corta y alta* — pérdida de capacidad de respuesta.
  - *Larga y baja* — hiperexcitabilidad.
- 7) **Rama cronáxica**. Es el *tramo de línea cuadrangular* (Fig. X. 9), que va desde el punto o tiempo útil muscular hasta su final, ascendiendo y pasando por la cronaxia hacia su terminación en la vertical de 0,05 ms con una intensidad entre 60 y 80 mA.

Si tiende a la verticalidad antes de lo habitual, o si representa cambios de sentido, indicará, progresivamente, el grado de afectación patológica.

Si la rama cronáxica cruza la vertical de 1 ms (o zonas próximas), podemos aplicar como tratamiento **faradización con trenes de impulsos** que contengan en su interior impulsos cuadrangulares de 0,5 a 5 ms (dependiendo de la faradización deseada y de los puntos útiles marcados en la curva).

- 8) **Escalones** (Fig. X. 10). En cuanto a los cambios de sentido en la rama cronáxica, entra dentro de la normalidad el que, próximo al punto de faradización se manifieste un escalón, indicador de cambios en las respuestas por comenzar a responder a partir de ese momento fibras nerviosas y musculares que antes se mantenían inactivas.

Los escalones en determinadas zonas de las gráficas (logarítmicas o lineales) pueden pasar desapercibidos, por lo que, en caso de interesar un análisis detallado de un determinado escalón, se hará una exploración metódica sobre el soporte que se considere más oportuno. Esto es:

- si aparece un escalón por debajo de 10 mA o de 80 mA, o próximo a ello, en una gráfica logarítmica, se apreciarán pocos detalles;



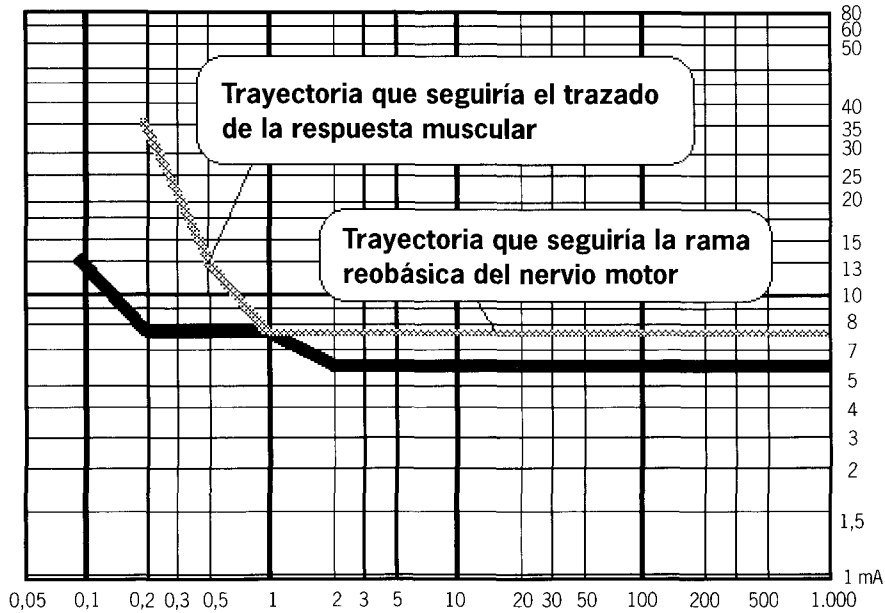


Figura X.10.

- si el escalón se dibuja inmediatamente por encima de 10 mA, también en la logarítmica, se apreciará con mucho detalle;
- si el soporte es lineal, resaltarán más los accidentes del trazado si los valores de intensidad se hallan inmediatamente por debajo de 10 mA o de 80 mA. Pero, si el valor está por encima de 10 mA, se dibujarán menos.

El referido escalón (Fig. X. 10) refleja el final de la rama reobásica del nervio, el cual reaparece cuando la fibra muscular pierde capacidad de respuesta ante los estímulos cortos, mientras que el nervio todavía mantiene buena respuesta con los tiempos cortos. Sin embargo, el nervio a los tiempos largos muestra el umbral de respuesta más alto que la fibra muscular.

A partir del escalón, la respuesta y calidad de la contracción cambia debido a la participación de las distintas raíces nerviosas que desencadenan la respuesta de varias placas motoras, ya que comienza a predominar la estimulación del nervio correspondiente en la zona, mientras que pierde efectividad la respuesta de las fibras musculares inmediatamente debajo del electrodo (las cuales se contraían antes y mejor con tiempos de impulso más largos).

Los electroestimuladores de baja frecuencia suelen presentarnos la corriente farádica con tiempos de impulso que coinciden en las proximidades del cruce de las dos curvas, con lo cual se estimulan simultáneamente a fibra muscular y a fibra nerviosa. De forma que si deseamos estimular al músculo, lo haremos con el tiempo útil correspondiente a la fibra muscular (2 ms), mientras que si pretendemos estimular al nervio, será con el tiempo del punto útil del nervio (0,2 ms) (valores del caso concreto dibujado en la figura X. 10).

*Por lo expuesto en los párrafos anteriores, se comprende la idea de que, «la curva realmente no es una curva, sino una sucesión de rectas uniendo los puntos marcados en la exploración». Si dibujásemos una curva, correríamos el riesgo de perder detalles o escalones que nos pueden interesar.*

- 9) *Zona cuadrangular de respuesta* (Fig. X. 8). Es toda la zona de la gráfica delimitada por la curva a la derecha y arriba de ésta, indicando que en cualquier punto elegido dentro de esta zona obtendremos respuesta (motora o sensitiva, según lo explorado) con impulsos cuadrangulares.

### ¿QUÉ OBTENEMOS REALMENTE CON LA CURVA I/T O CUADRANGULAR?...

1. *Nos orienta claramente hacia la patología padecida, aunque no se puede separar de la información aportada por la curva de acomodación o de impulsos de subida progresiva.*
2. *Averiguamos la intensidad mínima necesaria con los distintos tiempos de impulso para despolarizar la membrana de las células nerviosas o musculares, obligándolas a que respondan con una contracción muscular.*
3. *Dado que la contracción muscular o efecto excitomotor se puede conseguir con multitud de corrientes o formas de impulsos, la curva nos indica que la forma más eficaz para conseguir dicho objetivo son los impulsos de subida vertical, manteniendo durante un tiempo el máximo de intensidad, para desaparecer bruscamente (aunque la bajada rápida no tiene la importancia de la subida, la cual sí es fundamental).*
4. *Si la subida de los impulsos empleara un tiempo en conseguirlo, la célula intentaría acomodarse, falseando los resultados. Por supuesto que, al aplicar impulsos de subida progresiva, también provocaremos respuesta motora, punto que marcaremos en la gráfica, pero veremos cómo la intensidad necesaria es mayor por el intento de acomodación de la célula.*
5. *Averiguamos el mejor tiempo de impulso para tratamiento.*
6. *Descubrimos si es factible practicar tratamientos con trenes de farádicas y qué características deben tener los trenes.*
7. *Si nos interesa estimular preferentemente al nervio o al músculo.*
8. *Cuál será el mejor impulso en su tiempo e intensidad, para estimular denervaciones (punto útil), aunque no suele emplearse por razones que veremos al hablar de la curva de acomodación y del triángulo de utilidad terapéutica.*

Normalmente está extendida la idea, entre los profesionales, de que, cuando se trata el tema de las curvas I/T, estamos considerando la reobase, la cronaxia y el índice de acomodación. Parámetros que sirven para establecer un diagnóstico aproximado, trabajoso y superado por la electromiografía.

Las curvas sufrieron el proceso degenerativo de ser sometidas a un atajo en el que se hallaban únicamente dos puntos de la curva I/T completa (la reobase y la cronaxia). La reobase indica la altura de la curva. La cronaxia indica si se sitúa a la izquierda, en el centro

o a la derecha. Con estas dos referencias se hacían una idea aproximada de «si la cosa andaba bien, regular o mal». Lo mismo ocurría con el índice de acomodación.

Este atajo provocó la pérdida de la información más transcendental que aportan las curvas. Como fisioterapeutas, la reobase, la cronaxia y el índice de acomodación prácticamente no nos dicen nada. Los puntos útiles y los escalones nos darán los tiempos de los pulsos para uso en los tratamientos.

## Parámetros característicos de la curva con impulsos de subida progresiva (A/T)

Se aplican impulsos *aislados* de subida progresiva (Fig. X. 11) hasta alcanzar el máximo en un punto, del que inmediatamente se produce un descenso brusco.

Por lo que se refiere a la nomenclatura de los impulsos utilizados para obtener la curva de *acomodación*, es mejor referirse a ellos como *impulsos de subida progresiva*. Los estimuladores antiguos solamente podían ofrecernos impulsos de subida exponencial, por lo que, habitualmente, se hablaba de *impulsos exponenciales*. Los electroestimuladores modernos nos dan la posibilidad de elegir entre subida de progresión exponencial o lineal, pero es más lógico usar los de subida lineal (triangulares).

Los parámetros más importantes que nos va a manifestar esta curva son los siguientes (Fig. X. 12):

- 1) *Umbral Gálvano Tétano (UGT);*
- 2) *Ángulo de deflexión;*
- 3) *Índice de faradización;*
- 4) *Rama de acomodación anódica y*
- 5) *Rama de acomodación catódica o de faradización;*
- 6) *Zona triangular de respuesta.*

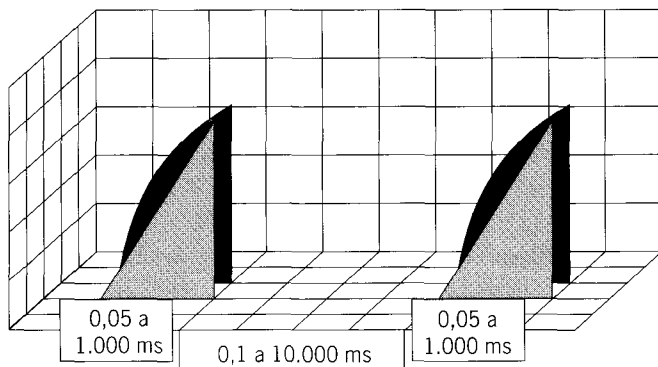


Figura X.11.

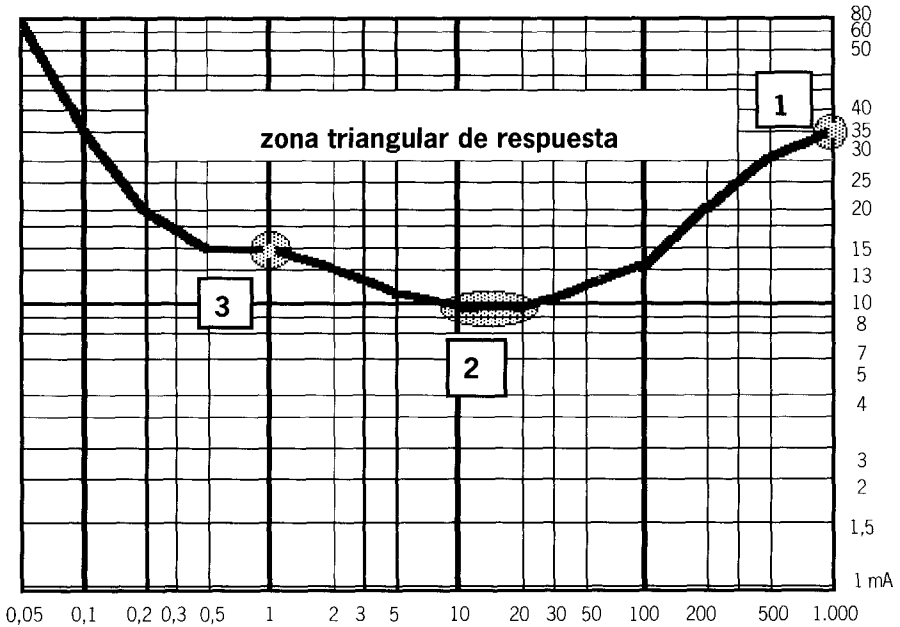


Figura X.12.

- 1) **Umbral Gálvano Tétano (UGT)** (Fig. X. 12). Punto situado en la misma vertical que la reobase, es decir, la *intensidad* mínima necesaria para producir una contracción muscular con un impulso de subida progresiva en 1.000 ms.

El valor del umbral gálvano tétano se divide entre la reobase para obtener el *índice de acomodación*. Luego la consecución de este parámetro solamente se halla con el fin de calcular un valor numérico que va a ser dividido entre la reobase para conocer un *cociente*.

- 2) **Ángulo de deflexión** (Fig. X. 12). Refleja el *tiempo* correspondiente al punto o valle donde la curva termina de descender, para comenzar de nuevo el ascenso. Indica el mejor tiempo de impulso de subida progresiva para conseguir la respuesta motora, aunque no suele emplearse como tal para los tratamientos, por las razones que se verán en el epígrafe referente al triángulo de utilidad terapéutica.

El trazado normal, suele estar situado entre las verticales de los 10 a 100 ms, pero, si se encuentra desplazado hacia la derecha, indica afectación patológica y va a ser un parámetro que, junto con otros, nos darán el grado de afectación.

La mayor o menor distancia que pueda existir entre el ángulo de deflexión y la vertical de los 1.000 ms, suele ir pareja con la longitud de la rama reobásica de la curva cuadrangular.

En los trazados que reflejen normalidad o alteraciones moderadas, **tomaremos los valores de los tiempos del ángulo de deflexión como tiempos de los reposos entre impulsos para diseñar corrientes farádicas.**

- 3) **Umbral farádico** (Fig. X. 12). Es la *intensidad* necesaria para la respuesta motora con un impulso progresivo de 1 ms. Antes de seguir, volvamos a aclarar que aunque se

habla del punto de *faradización* sobre la curva de acomodación, en la práctica y con los aparatos modernos, es más útil colocar el *punto de faradización* sobre la rama cronáxica de la cuadrangular.

Antiguamente, las farábricas se formaban con impulsos triangulares; actualmente, se prefieren cuadrangulares por tener subida más rápida y mejores resultados a menor intensidad.

Dado que los trenes de corrientes farábricas normalmente están formados (dentro de ellos) por impulsos de 1 a 2 ms y reposos de 15 a 20 ms, necesitamos saber si los impulsos de dicha duración serán capaces de estimular la contracción de un músculo. Por lo que, como ya se ha dicho, si la rama de faradización corta a la vertical de 1 ms, dicha intersección nos indicará la *intensidad* mínima necesaria para aplicar ese tiempo de impulso como tratamiento (dentro del tren) (ver el capítulo XI, correspondiente a las farábricas).

- 4) **Rama de acomodación anódica** (Fig. X. 12). Es el tramo de línea que va desde el punto de origen, *Umbral Gálvano Tétano*, hasta el *ángulo de deflexión*, siendo caracterizada por su forma y ángulo de inclinación.

Entre el ángulo de deflexión y la vertical de 1.000 ms, los impulsos son tan largos que el gradiente de subida presenta poca inclinación, por lo que la membrana celular dispone de tiempo suficiente para acomodarse superando la subida del impulso, pero al retirar bruscamente el mismo, responde contrayéndose. Este fenómeno será referido y analizado con más detalle en el epígrafe «Observaciones sobre el fenómeno de acomodación».

La observación de este tramo de línea nos informa rápida y cualitativamente (con su grado de inclinación) sobre la capacidad de acomodación del sistema explorado, de forma que (Fig. X. 13):

**Rama tendente a la horizontal = Pérdida de la acomodación**

**Rama hacia 45° o más de 45° = Acomodación normal**

En ocasiones, no podremos hallar el *índice de acomodación* que nos indique la acomodación del músculo o nervio explorado, debido a que esta rama sale de la gráfica por su borde superior (Fig. X. 13) sin indicarnos el *Umbral Gálvano Tétano*. Será entonces cuando recurramos a la observación cualitativa de su inclinación.

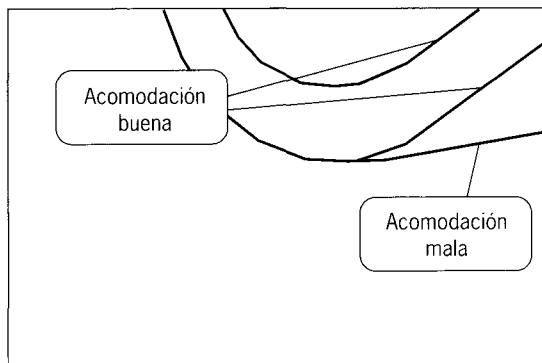


Figura X.15.

5) **Rama de faradización o acomodación catódica** (Fig. X. 12). Es el tramo de la línea que se dibuja desde el *ángulo de deflexión* hasta su final por la izquierda, pudiendo o no pasar por la *vertical de faradización*. Nos mostrará las respuestas a tiempos de impulsos cortos, lo suficientemente cortos como para superar el umbral de polarización cuando sube el impulso, aunque la célula haya intentado acomodarse.

Esta rama mantiene el paralelismo con la cuadrangular (Fig. X. 14) porque obedece a la misma ley de: «**a tiempos de impulsos cortos, intensidades altas; a tiempos de impulsos más largos, intensidades bajas**». La separación entre esta línea y la cuadrangular se debe al intento de acomodación de la membrana, de manera que ante dos impulsos de la misma duración, si la subida es rápida, la célula se verá sorprendida en su nivel de polarización habitual. Pero, si la subida es lenta, la célula elevará su umbral y el impulso deberá ser más intenso para conseguir superarlo (Fig. X. 15).

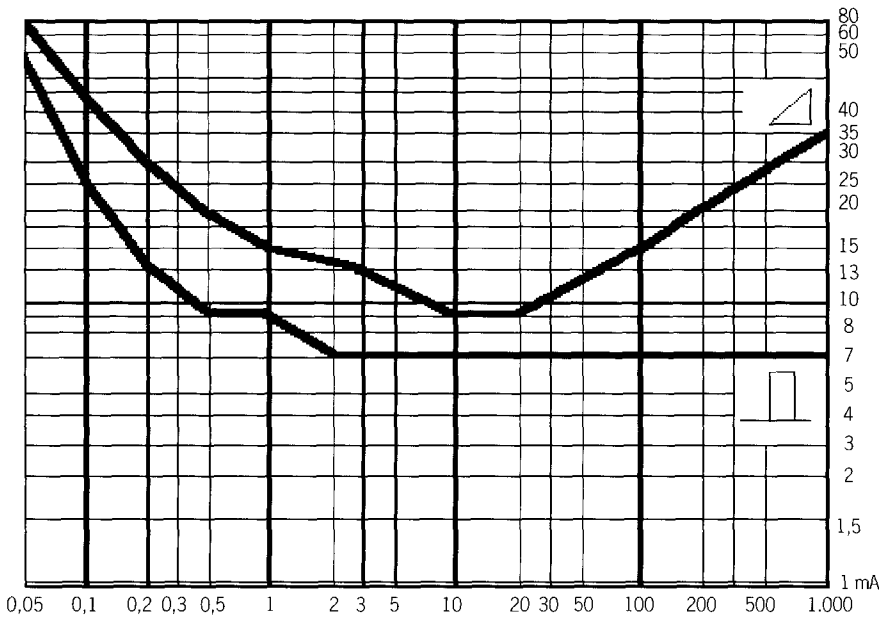


Figura X.14.

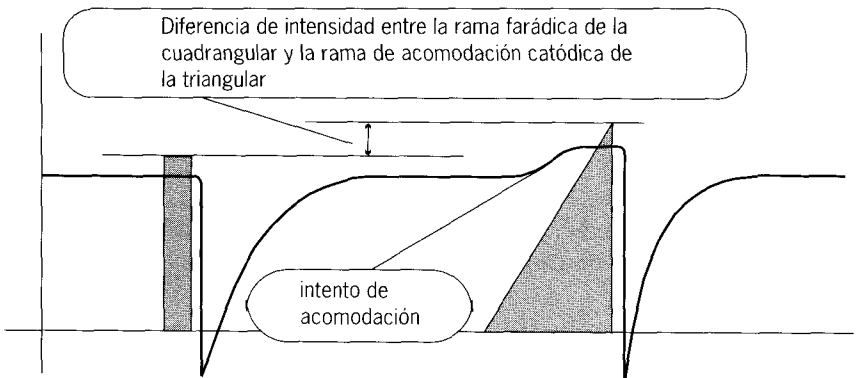


Figura X.15.

El ángulo de deflexión reflejaría el punto donde coinciden los dos efectos:

- por un lado, mínima intensidad con mejor respuesta, y
- por otro, mínima reacción de acomodación.

Esta rama suele sufrir las alteraciones y deformaciones de la rama cronáxica cuadrangular, indicando, también, posibles alteraciones patológicas que pueden o no coincidir con lo indicado en la rama cronáxica (Fig. X. 15).

- 6) **Zona triangular de respuesta.** Es la zona superior a la concavidad de la curva; indica que cualquier punto comprendido dentro de ella señala unas coordenadas que garantizan la respuesta de contracción.
- 7) **Índice o cociente de acomodación** (Fig. X. 16). Este valor es un parámetro obtenido de las dos curvas: para ello se divide el UGT entre la reobase. Indica de forma *cuantitativa* la capacidad de acomodación.

El hecho de que estos valores se localicen a mayor o menor altura en la gráfica no es representativo al 100% del nivel de excitomotricidad, ya que influyen muchos factores que pueden hacer variar la intensidad o parte de la corriente aplicada que llega al músculo o al nervio, factores como:

- humedad de los electrodos;
- tamaño de los electrodos;
- zona de colocación de los electrodos;
- forma de detectar el grado de contracción;
- edema;

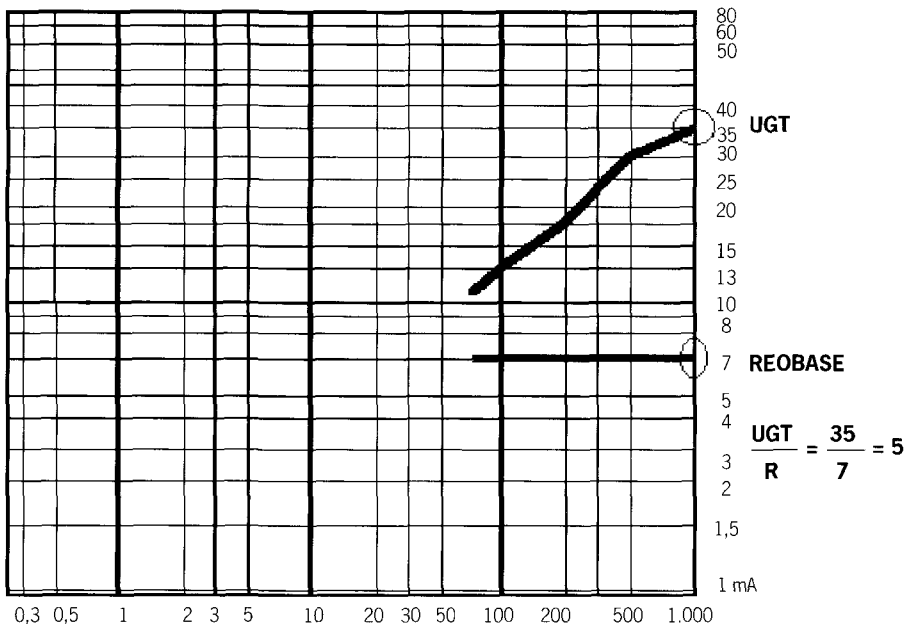


Figura X.16.

- polaridad;
- técnica usada;
- edad, etcétera.

Lo verdaderamente importante es la proporción existente entre ambas cantidades, a fin de obtener el índice de acomodación al dividir:

$$\frac{\text{Umbral Gálvano Tétano}}{\text{reobase}} = \frac{\text{UGT}}{\text{R}} = \text{cociente de acomodación}$$

Este cociente de acomodación se reflejaría de la siguiente forma:

<i>Pérdida severa de la acomodación</i>	menor que 2
<i>Pérdida parcial de la acomodación</i>	entre 2 y 3
<i>Acomodación normal</i>	entre 3 y 7 (5)
<i>Hipersensibilidad a la acomodación</i>	mayor que 7

Este valor o cociente se utilizaba como referente en el diagnóstico. Para los fisioterapeutas, no aporta información digna de considerar si pretendemos obtener datos útiles para diseñar corrientes apropiadas a cada situación patológica.

### Observaciones sobre el fenómeno de acomodación

Se dijo más arriba que los estímulos eléctricos o procedentes del propio sistema nervioso motor, cuando rompen el desequilibrio eléctrico existente entre el interior de una fibra muscular o nerviosa con su exterior, producen una despolarización con reacciones químicas conducentes al proceso contráctil.

Suponiendo que el umbral de polarización de una fibra muscular es de 50 mV, es decir, la diferencia de potencial del interior con el exterior, separado por la membrana, es de 50 mV. Por consiguiente, tendremos que aplicar un impulso que sea capaz de superar dicho umbral.

Pero, en estado de normalidad, la fibra muscular y la nerviosa poseen la siguiente propiedad: «manifiesta una cierta pereza para responder al estímulo eléctrico», dicho entre comillas. Esta resistencia, o ley del mínimo esfuerzo, es opuesta por la fibra tratando de subir su nivel de polarización, *para lo cual necesita un tiempo* (Figs. X. 15, 17 y 20).

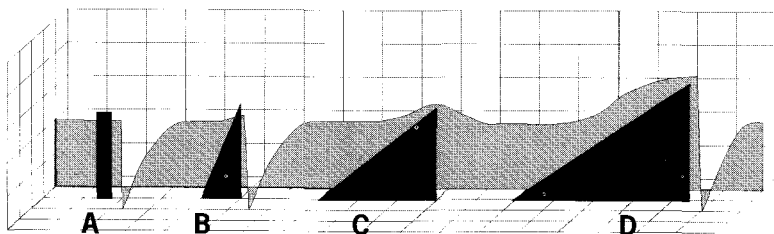


Figura X.17.



- A) Si el impulso aplicado es de subida suficientemente rápida, la fibra se verá sorprendida por el estímulo y, roto su umbral, responderá con una contracción.
- B) Cuando el pulso es triangular, y con una progresión muy rápida, la membrana intenta acomodarse, pero no lo consigue.
- C) Si el impulso aplicado es de subida *lenta* o *progresiva*, la fibra detectará ese intento elevando su umbral hasta donde pueda; si la entrada del impulso es lo suficientemente lenta (más lenta que la rapidez de la fibra en acomodarse) la fibra conseguirá colocar su umbral por encima del estímulo, sin llegar a producir contracción: ha conseguido acomodarse.
- D) Así, cuando los pulsos son muy largos y de subida progresiva (a la derecha del ángulo de deflexión), la membrana consigue acomodarse a la entrada del pulso, se ha elevado mucho la intensidad y se ha creado una situación de desequilibrio eléctrico, tal que, al retirar el pulso bruscamente, aparece una respuesta motora (respuesta anódica). Para observar este fenómeno, aplíquense pulsos triangulares de 500 ms, separados 2 sg y elevar la intensidad hasta conseguir respuesta motora, la cual, podremos apreciarla al final del pulso, que no a la entrada.

Tanto a musculatura como a nervios *en estado de normalidad* (no de denervación) el estímulo será capaz, antes o después, de superar el umbral de contracción, respondiendo a la entrada del pulso. Pero, en el proceso de acomodación a tiempos largos y triangulares, detectaremos respuesta con el corte o cese brusco del impulso por el siguiente mecanismo:

Cuando se interrumpe bruscamente el impulso aplicado, y éste no consiguió superar el umbral de polarización, su interrupción rápida provoca desplazamientos bruscos de *cargas eléctricas* propias o internas de la zona, en sentido inverso, las cuales serán capaces de alcanzar despolarización y respuesta motora.

Para poder entender lo dicho, partiremos de una base, según la cual las cargas eléctricas son relativas unas con respecto a otras y la existencia de una carga eléctrica va a crear otra próxima de signo opuesto con un punto neutro o dieléctrico entre ambas. Es decir:

- la fibra muscular tiene una carga (-) dentro y otra carga (+) fuera, ambas separadas por la membrana;
- la aplicación de un impulso eléctrico al organismo no es otra cosa que la introducción de cargas eléctricas que van a generar otra en sus proximidades de signo contrario de forma que, cuando desaparezca la carga introducida, también se producirá un reajuste en la carga creada por el estímulo (reajuste más intenso y brusco cuanto mayor sea el desequilibrio causado y la rapidez de caída del impulso aplicado). Este es el llamado *efecto anódico*, ya que, normalmente, se aplicará como impulso el procedente del cátodo.

Este último párrafo no es fácil entenderlo si no se acompaña de un ejemplo:

Supongamos que nos encontramos en un autobús de transporte urbano donde se suele viajar de pie y bastante apretados (somos los electrones que estamos dentro del organismo). Llegamos a una parada en la que vemos una hilera considerable de personas esperando subir a nuestro autobús (los electrones que pretenden entrar al organismo). ¿Cómo reaccionarán los viajeros del interior al ver muchas personas dispuestas a entrar también?

La reacción lógica es apartarse de la puerta y dejar hueco suficiente a los «electrones» que entran.

Esta reacción de «dejar hueco» también la sufren los electrones antes de que entren otros procedentes del electrodo: es la llamada *respuesta anódica* en el cátodo. Anódica, por ser de signo contrario a la aplicada:

- entran electrones, carga (-);
- se crea un hueco, carga (+)

Debemos recordar el fenómeno producido cuando aplicamos galvanismo relacionado con la excitomotricidad. El galvanismo no es excitomotor, a no ser que lo apliquemos bruscamente, instante en el que aparece una reacción de contracción muscular. **También si se interrumpe la aplicación de galvanismo bruscamente, se producirá una contracción.**

Esta contracción de retirada (*apertura del circuito*) es debida a que la membrana acomodó su nivel de polarización a la corriente galvánica. Al retirarla bruscamente, en el líquido extracelular, cambian los niveles eléctricos, también rápidamente, con una diferencia de potencial tan alta que rompe el aislamiento de la membrana despolarizándola y causando su consiguiente contracción. Esta circunstancia da el nombre al Umbral Gálvano Tétano (UGT). Es decir, **es el umbral en el que se produce una respuesta motora después de tener aplicada una corriente galvánica y retirarla bruscamente.**

Volviendo al ejemplo anterior del autobús, esto ocurriría cuando el vehículo llega a una parada en la que se bajan muchos de los pasajeros que habían provocado las apreturas y estrecheces. Si se han apeado bastantes, los pasajeros que quedan se dispersan por el hueco dejado para buscar holgura, comodidad y reparto más homogéneo.

**«El movimiento de dispersión de los pasajeros por las zonas libres del autobús será el impulso que cause la respuesta motora».**

Resumiendo, con impulsos cuadrangulares y triangulares, nos hallamos ante dos tipos de respuestas excitomotoras:

1. una, cuando aplicamos el impulso (al *cierre* del circuito o *catódica*) y
2. otra, cuando cesa el impulso (a la *apertura* del circuito o *anódica*)
  - *cierre* se refiere al cerrado del circuito para que circule el impulso. (Fig. X. 18);
  - *apertura* es el momento de apertura o corte del circuito para interrumpir el paso del impulso (Fig. X. 19).

Este fenómeno es el que vamos a explorar con la curva de respuesta a impulsos progresivos o de acomodación. Del ángulo de deflexión hacia la derecha queda reflejada la respuesta anódica, mientras que a la izquierda del ángulo de deflexión tenemos la acomodación a la respuesta catódica. Veámoslo en la figura X. 20 más detenidamente.

## Enlentecimiento de los tiempos de respuesta fisiológica

La celeridad de la membrana celular de fibras musculares y nerviosas, para despolarizarse, repolarizarse y acomodarse, depende del buen estado metabólico. En caso de hallarse sometidas a patología (fundamentalmente denervación) ocurrirán cambios

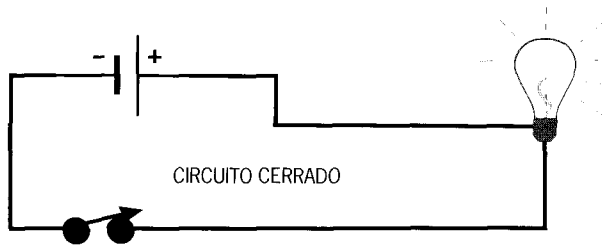


Figura X.18.

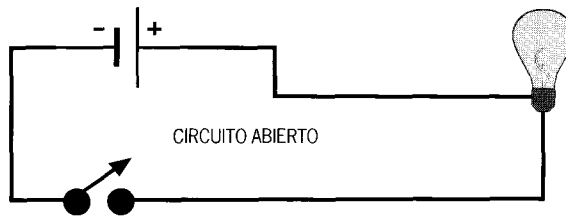


Figura X.19.

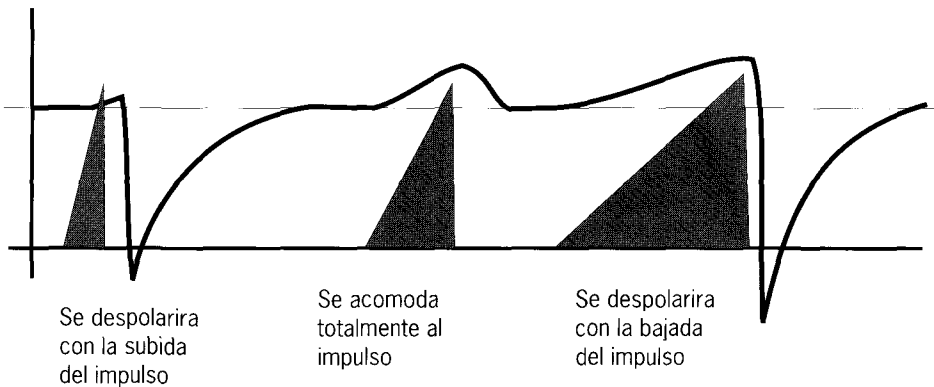


Figura X.20.

**electrofisiológicos que vamos a comparar entre el estado de normalidad y el de denervación** (Tabla X. 1).

Entre 10 y 30 milisegundos se hallarán los tiempos empleados por las membranas celulares para repolarizarse si es muscular (menores tiempos en el nervio). Pero, si las fibras musculares o nerviosas se ven afectadas por alguna patología, los tiempos se alargan hasta varios segundos, razón que nos obliga a separar los impulsos si deseamos contracciones sucesivas con la misma intensidad de respuesta.

Estos párrafos nos están dando la pista y nos conducen a pensar por qué en las denervaciones nos vemos obligados a estimular con impulsos aislados entre sí varios segundos y de subida progresiva.

*Los impulsos ideales siguen siendo los de subida rápida, pero de bastante intensidad, con lo que otros músculos o nervios cercanos en buen estado se verán invadidos por el impulso eléctrico, respondiendo antes que el denervado, aunque el punto motor corresponda al denervado.*

TABLA X. 1

Fibra normal	Fibra denervada
Responden a impulsos cortos y de baja intensidad	Requieren impulsos largos de elevada intensidad
Tardan poco en repolarizarse (10 a 30 ms)	La membrana tarda mucho en repolarizarse (se retrasa hasta 2, 3 ó 4 segundos)
Se acomoda fácilmente	Pierde la capacidad de acomodarse
Responde mejor a la forma cuadrangular que a la triangular	Responde prácticamente igual a pulsos cuadrangulares que a triangulares
Podemos conseguir contracciones mantenidas durante unos segundos con trenes o ráfagas de pulsos	Nos veremos obligados a trabajar la musculatura con pulsos aislados, dado que no permiten la contracción mantenida de la fibra

*Dado que los músculos sanos conservan buena capacidad de respuesta acomodativa, si les aplicamos impulsos de subida progresiva, los sanos se acomodarán, mientras que el afectado por patología responderá por haber perdido dicha capacidad.*

**Estas diferencias de comportamiento también se reflejan en las curvas de acomodación de los sanos y de los afectos cuando ambas se superponen, formando una figura característica denominada...**

### Triángulo de utilidad terapéutica

Si superponemos sobre la misma gráfica sendas curvas de acomodación, una perteneciente al sano y otra al denervado (ambas pruebas sin cambiar los electrodos de lugar) (Fig. X. 21), obtendremos dos curvas que, comenzando en la vertical de 1.000 ms (la del sano por encima de la del enfermo) tienden a cruzarse dejando entre ellas un ángulo que, junto con la vertical de 1.000 ms, van a componer un *triángulo de respuesta selectiva* para el enfermo. De manera que cualquier punto de coordenadas dentro de triángulo conseguirá que el músculo enfermo se contraiga con un impulso de subida progresiva, mientras que el sano, con el mismo impulso, no respondería, dado que no se ha superado su umbral de respuesta a la contracción.

Concluyendo, aun pecando de reiteración, la obtención de este parámetro se realiza con motivo de tratamientos en los que las respuestas de contracción detectadas corresponden a los músculos próximos que están menos afectados, mientras que los enfermos no responden según nuestros deseos. Es por ello por lo que debemos disociar la capacidad de acomodación de ambos para aplicar impulsos que no exciten al sano, pero sí al enfermo.

Esto nos conduce a la polémica existente sobre la utilidad y provecho de los tratamientos con electroestimulación *selectiva sobre conjuntos neuromúsculos denervados*.

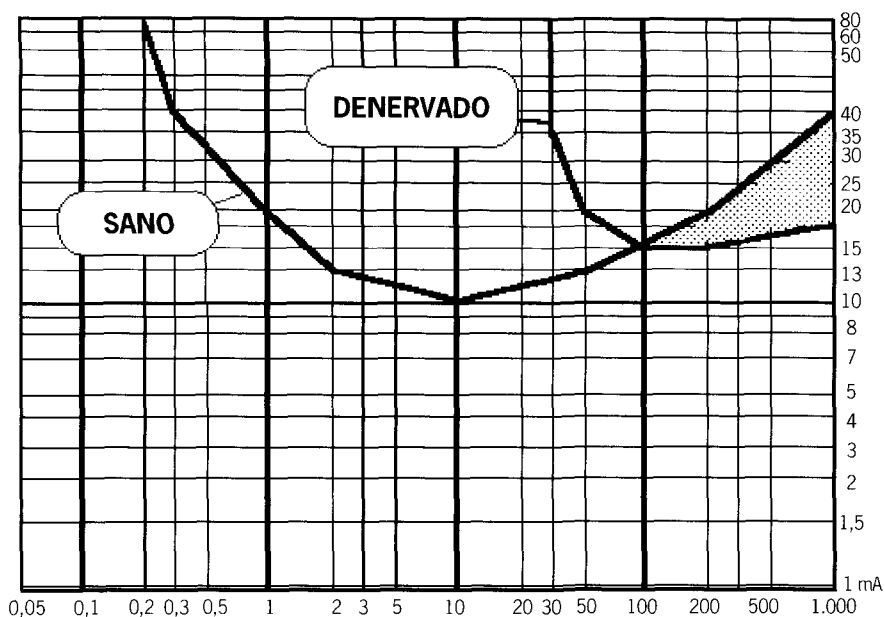


Figura X.21.

### Estimulación selectiva de músculos denervados

Se considera que, desde el momento en que un nervio abandona el control motor de un músculo (por lesión del nervio periférico, no de primera ni segunda neurona motoras), éste inicia un camino de atrofia y degeneración progresiva hacia un tejido distinto al específico o característico de músculo con la función de contraerse (degeneración Walleriana).

Si la lesión nerviosa es temporal, esperaremos que en su día el nervio reinerve al músculo para que éste reinicie progresivamente su tendencia o retorno a la normalidad. Pero si al llegar el nervio, el músculo degeneró en tejido conectivo y las placas motoras tampoco pudieron retomar su función, no servirá de nada que se haya restablecido la conducción nerviosa.

Con el fin de evitar esta posibilidad, debemos mantener al músculo en lo posible con su capacidad de contracción y que sus placas motoras conserven su función mediante estimulación eléctrica transcutánea.

Para que esta estimulación sea realmente efectiva, necesitamos conseguir un trabajo efectivo del músculo filtrando los sanos próximos.

No solamente es necesario, como queda dicho, contraer al músculo para que mantenga su capacidad metabólica específica, sino que la placa motora debe ser estimulada para que ésta conserve sus funciones electroquímicas de sinapsis entre fibra nerviosa y fibra muscular, evitando que se alteren el mínimo posible las reacciones electroquímicas y neurotransmisoras.

En un conjunto neuromúsculo afectado, en ocasiones, no es fácil conseguir buenas respuestas. Para ello debemos dominar bien la colocación de electrodos, tamaños de los mis-

mos, comparar aplicación bipolar o monopolar, implicar al trayecto nervioso o no implicarlo, etcétera.

En la zona de lesión nerviosa, con neurotmesis, axonotmesis o neuropraxia, podemos y debemos influir con estímulos eléctricos de cuatro maneras (Fig. X. 22):

- con el electrodo activo fijado sobre la lesión;
- con los electrodos en aplicación monopolar alejados de la lesión quedando ésta entre ambos y el electrodo distal en el mejor punto motor;
- el electrodo masa colocado en la zona de la lesión;
- los electrodos en aplicación bipolar sobre la zona afectada sin influir en la zona de lesión.

Con estas formas de estimular o implicar al nervio en la conducción de estímulos nerviosos procedentes del exterior, obligamos a que éste reaccione y despolarice su membrana, la cual, si se halla en relativa capacidad de trabajo, desarrollaremos su función, pero si la lesión es severa, trataremos de que el extremo distal a la axonotmesis o neurotmesis conserve en lo posible su capacidad de respuesta y conducción eléctrica.

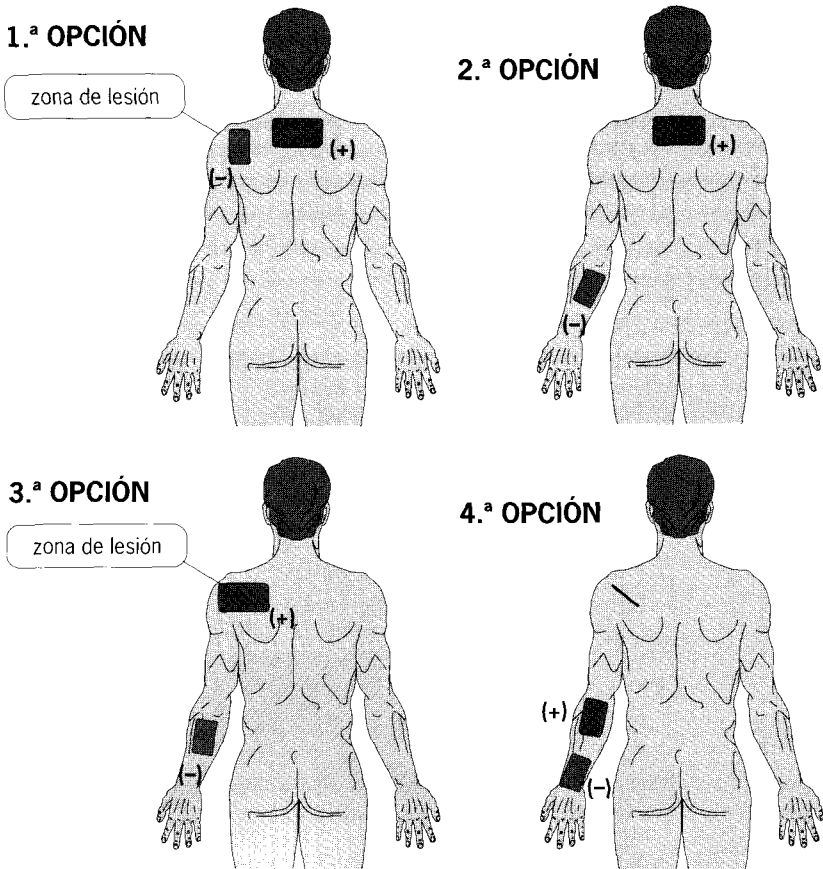


Figura X.22.

En el caso de aplicar un electrodo sobre la zona de lesión, será mejor situar el (-), por causa de que éste, y debido a su componente galvánico, crea un mejor ambiente metabólico en la zona. De hecho, una vieja práctica que ha caído en desuso consiste en aplicar previamente unos minutos de galvanismo con el cátodo en la placa motora o zona de lesión, antes de la estimulación motora.

Las polémicas acerca de los resultados y las técnicas usadas, habitualmente vienen dadas por ignorancia o fallos a la hora de aplicarlas. Pero quien domina la técnica y controla el porqué, o trabaja con la debida precisión, obtendrá resultados muy buenos en las recuperaciones de parálisis parciales y totales reversibles. ¿Cuántos fisioterapeutas conocen qué es y en qué consiste el *triángulo de utilidad terapéutica*? ¿Cuántos saben encontrarlo sobre la marcha sin la necesidad de trazar las curvas?

La estimulación eléctrica *sensitiva y motora* debe comenzar cuanto antes, estableciendo pautas de tratamiento adecuadas basadas en:

- las curvas (I/T)-(A/T);
- en la localización del triángulo de utilidad terapéutica;
- en la adecuada colocación de electrodos (alternando entre varias);
- implicar o no al nervio;
- mejorar el trofismo mediante galvanismo en la zona de la lesión;
- seguir día a día las evoluciones y progreso de la lesión;
- modificar los impulsos en tiempo, forma y separación según los requerimientos diarios, etcétera.

***Los tratamientos con impulsos de subida progresiva en las denervaciones deben ser repetidos varias veces al día durante poco tiempo en cada aplicación.*** Varias veces para mantener el máximo de actividad y frenar en lo posible la degeneración. Poco tiempo en cada sesión para evitar la fatiga de los elementos sometidos a trabajo (fibra muscular, fibra nerviosa y sinapsis).

Es mejor usar la modalidad de *impulsos bifásicos desfasados*, pues en monofásico conservan un fuerte efecto galvánico que irrita o quema la piel en los puntos de aplicación de electrodos. Los bifásicos consecutivos no sirven para este tratamiento. Asimismo, la irritación de la piel nos obliga a cambiar con frecuencia los lugares de colocación de electrodos a la vez que buscamos influencias diversas en el nervio, en el conjunto neuromúsculo o solamente en el músculo.

Es interesante sugerir aquí, que al igual que a los pacientes se les ceden pequeños estimuladores para analgesia (TNS), también se les puede prestar estimuladores portátiles con parámetros prefijados en la sesión de tratamiento (hasta la siguiente sesión) para que él mismo, colocándose los electrodos en los lugares indicados y subiendo la intensidad, se lo autoaplique en su domicilio varias veces al día. La tecnología actual permite el diseño de los referidos equipos portátiles sin ninguna dificultad.

No podemos olvidar que las denervaciones motoras generan denervaciones sensitivas y del neurovegetativo, de lo cual nos olvidamos con facilidad, olvido conducente a las que-

maduras que se dan con cierta frecuencia, pues el sistema nervioso no recibe información de las agresiones electroquímicas recibidas en la zona afectada y, por consiguiente, no puede desarrollar mecanismos de defensa.

Si se aplican tratamientos precisos, los pronósticos serán bastante buenos, aunque dependen en gran parte del tipo, nivel y grado de la lesión, de forma que:

- cuando nos enfrentamos a una *neurotmesis* (Fig. X. 23) a no ser que exista reparación quirúrgica o los extremos de la sección se encuentren próximos, las posibilidades de recuperación serán muy bajas o nulas;
- si la lesión es una *axonotmesis* (Fig. X. 24) normalmente debida al aplastamiento o elongación del nervio, se destruye el axón pero se mantiene el tronco y perineuro del axón, siendo la recuperación bastante buena y se cree que avanza a una velocidad de 1 mm por día;
- en caso de *neuropraxia* (Fig. X. 25) lesión parcial del nervio, se interrumpe el flujo eléctrico, pero no existe lesión anatómica y la recuperación suele resultar total entre 6 y 12 semanas.

### Forma de hallar el triángulo de utilidad terapéutica sin trazar las curvas de acomodación

En unos segundos podemos introducirnos en el triángulo de utilidad terapéutica variando el tiempo de los impulsos y su intensidad, hasta encontrar la respuesta selectiva del denervado evitando la de los sanos (Fig. X. 26).



Figura X.23.



Figura X.24.



Figura X.25.



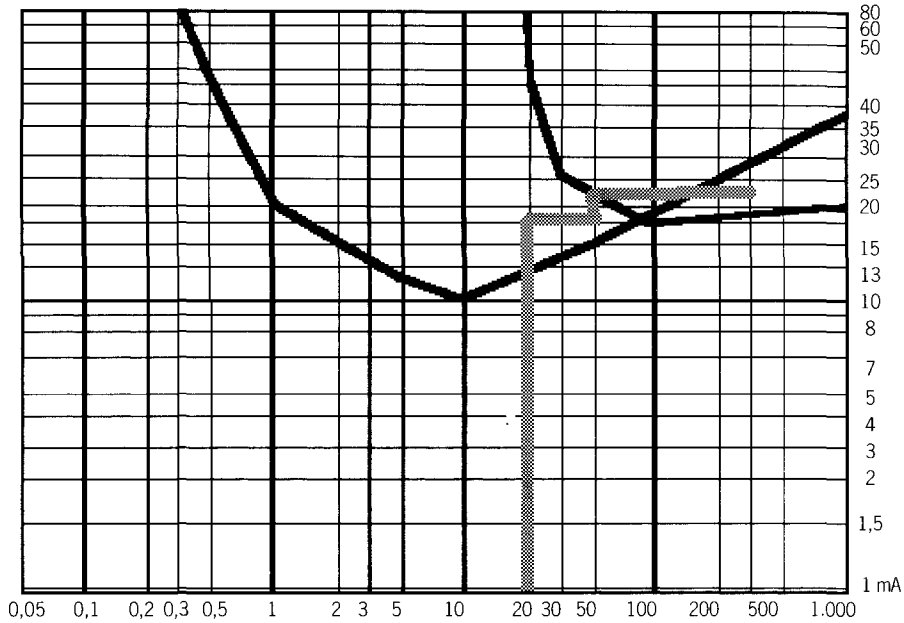


Figura X.26.

Se realiza de la siguiente forma (sígase y obsérvese detenidamente la línea gris de la figura X. 26):

- 1) Seleccionamos impulsos triangulares con tiempos comprendidos entre 10 y 100 ms (digamos 20 ms).
- 2) Se sitúan los electrodos en los lugares que creamos más adecuados y el activo en el mejor punto motor (una vez que se hayan conseguido respuestas motoras, se retoca la localización hasta hallar el mejor punto).
- 3) Se inicia la subida de la intensidad hasta la respuesta de los sanos (si únicamente responden los afectados, es que ya estamos en el triángulo, pero con tiempos tan bajos no suele aparecer todavía).
- 4) Con esa intensidad, desplazamos el tiempo de impulso hacia la derecha (digamos 50 ms). La respuesta de los sanos tiende a disminuir y tal vez no veamos ninguna del afectado.
- 5) Subimos un poco la intensidad y es posible que apreciemos alguna respuesta del afectado, pero también aumenta la de los sanos.
- 6) Desplazamos de nuevo el tiempo de impulso hacia tiempos mayores (pongamos 100 ms). Han disminuido de forma importante los sanos y reaparece con más fuerza el afectado.
- 7) De nuevo, desplazamos el tiempo hacia la derecha (en 300 ms) y en este punto han desaparecido los sanos totalmente y se mantiene el afectado. Hemos conseguido entrar en el **triángulo de utilidad terapéutica**, donde retocaremos la intensidad y el tiempo hasta quedar satisfechos con la aplicación.

Estas maniobras se deben practicar en cada sesión o cada pocas, con el doble objetivo de observar la posible evolución y ver la necesidad de cambios en los parámetros. *Debemos tender, siempre que nos lo permita la evolución, a impulsos lo más cortos posibles y lo más juntos posible, hasta que invadamos la vertical de 10 ms, donde, rápidamente, intentaremos diseñar trenes de farábricas que mantengan al músculo contraído durante varios segundos en lugar de una contracción aislada cada dos o tres segundos.*

Resumiendo: va quedando claro que los tratamientos del conjunto neuromúsculo normal o poco afectado por patología se tratan con trenes o ráfagas de pulsos, pulsos cuadrangulares, cortos y reposos cortos dentro del tren.

Cuando el conjunto neuromúsculo está denervado gravemente, se trata con pulsos aislados que no pueden ir en trenes (si lo deseamos, podemos agruparlos en trenes, aunque fuera de lógica), pulsos largos y altos, reposos muy largos y, seguramente, triangulares.

¿Qué ocurre en la situación intermedia entre normalidad y denervación? Debemos seguir la información que nos aporten las exploraciones sucesivas y adaptar los parámetros a las nuevas referencias en puntos útiles (para los pulsos) y los ángulos de deflexión (para los reposos). Si hay mejoría, la tendencia es a acortar los tiempos de ambos hasta poder componer trenes por hallarnos próximos a la normalidad. Es la tarea más compleja, pero la más adecuada. Véase epígrafe sobre denervación parcial.

Con estas pruebas, exploramos el *sistema neuromúsculo*, y nos interesa diferenciar cuál de las dos partes (nervio o músculo) es la más afectada. Para ello se realiza una comprobación complementaria que consiste en detectar el umbral de excitación del nervio que inerva la zona afectada de la siguiente forma.

## Umbral de excitación nerviosa

Situamos un electrodo grande que actúa de masa sobre el trayecto o plexo de origen nervioso a explorar. Se aplica el electrodo (-), más pequeño y activo, en un punto donde aflore el nervio a la superficie y proximal al grupo muscular afectado (estos puntos vienen dados en los mapas de excitación eléctrica motora, ver figuras del epígrafe «Puntos motores monopares nerviosos y musculares» en el capítulo III).

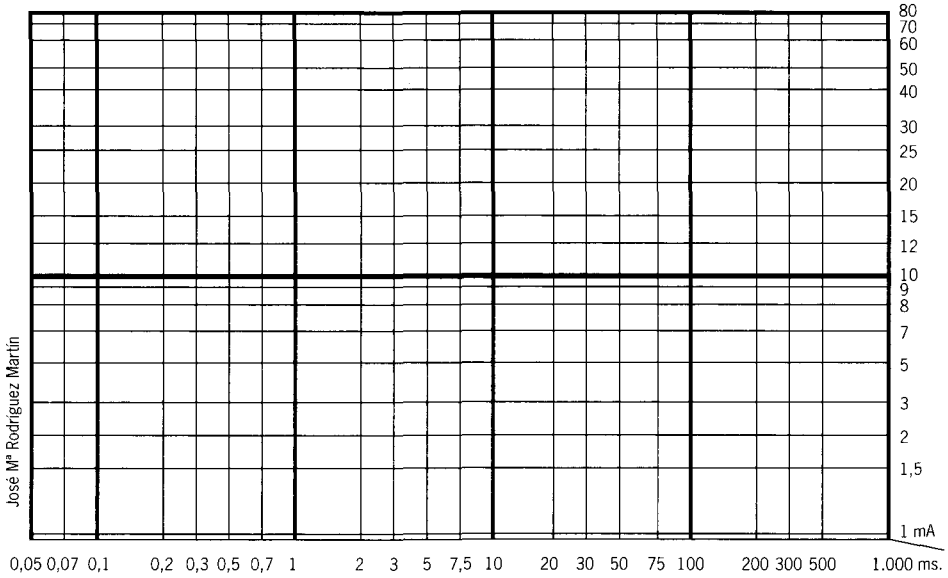
A continuación se aplica un impulso eléctrico cuadrangular lo suficientemente corto como para no superar el umbral de la fibra muscular (de 0,1 a 0,5 ms). Se observa la respuesta de contracción muscular en la zona inervada por el nervio explorado, de forma que, cuando se detecte, tomamos nota de la intensidad que fue utilizada.

Una vez realizado, se hace lo mismo en el lado contralateral manteniendo las mismas condiciones de la prueba. Se toma nota de la intensidad necesaria para la estimulación semejante al lado antes explorado. Por último, comparamos ambas cifras con el fin de valorar la diferencia en respuesta nerviosa.

Tal vez esta prueba está basada en la misma teoría de la *curva I/T*, es decir, se aplican para ambos lados impulsos con la misma duración, de forma que si uno de ellos se encuentra con pérdida de sus funciones, vamos a necesitar mayor intensidad para conseguir el mismo efecto.

### Gráfica para curvas (I/T)-(A/T) de progresión logarítmica

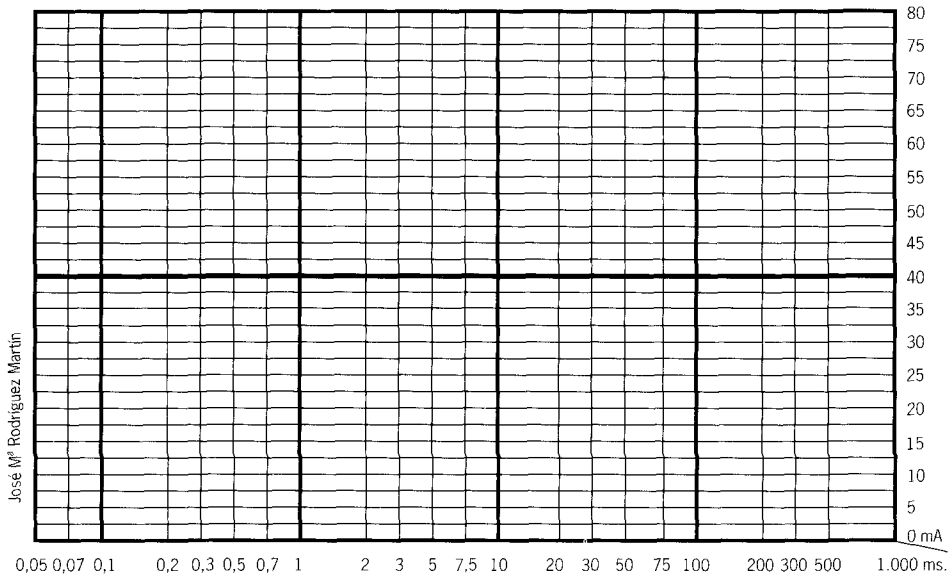
Ficha n° ..... Fecha a ..... de..... de.....



Nombre ..... Edad.....  
Diagnóstico .....  
Zona explorada .....  
Fisioterapeuta Sr. ....  
Reobase ..... UGT..... C. Acomodación .....  
P. útil Musc. .... P. útil Nerv..... Umbral de Farad. ....  
Cronaxia..... A. de Deflex.....  
Tiempo de impulso para farádica ..... Tiempo de reposo para farádica .....  
Observaciones.....  
.....

### Gráfica para curvas (I/T)-(A/T) de progresión lineal

Ficha nº ..... Fecha a ..... de ..... de .....



Nombre ..... Edad.....  
Diagnóstico .....  
Zona explorada .....  
Fisioterapeuta Sr. ....  
Reobase ..... UGT..... C. Acomodación .....  
P. útil Musc. .... P. útil Nerv..... Umbral de Farad.....  
Cronaxia..... A. de Deflex.....  
Tiempo de impulso para farádica..... Tiempo de reposo para farádica .....  
Observaciones.....  
.....



### Ficha de seguimiento para exploraciones con curvas (I/T)-(A/T)



Número.....

Nombre.....

Edad ..... Sexo .....

Zona explorada .....

Fisioterapeuta Sr.....

Fecha	Reobase	Tiem. útil	Cro- naxia	índice acom.	Áng. Defex		Umbral Far	
					inten.	tiempo		
	mA	ms.	ms.	cociente	mA	ms.	mA	mA

**OBSERVACIONES:**.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## Análisis de las curvas (I/T)-(A/T)

Trazado de las curvas cuadrangulares características (Fig. X. 27):

- *Hiperexcitabilidad.*
- *Normal.*
- *Reacción de retardo parcial (denervación parcial).*
- *Reacción de retardo global (denervación severa).*
- *Fibrosis muscular.*

Podríamos concretarlas en los trazados más significativos, teniendo en cuenta que, en la realidad, cada caso mostrará su propia forma y sus parámetros específicos, aunque con semejanza a una u otra de las trazadas como características en el ejemplo siguiente.

Si observamos la gráfica con sus curvas (excluyendo la correspondiente a la fibrosis, n° 5) vemos cómo el *punto útil* se desplaza hacia arriba y hacia la derecha, en correspondencia con el empeoramiento del conjunto neuromuscular.

Una circunstancia importante que no debemos pasar por alto, se refiere a las diferencias existentes entre las curvas correspondientes a *denervaciones* con relación a las patologías de *no denervaciones*, como: las fibrosis musculares, parálisis de primera neurona, miopatías, atrofas por reposo prolongado, «parálisis histéricas», alteraciones metabólicas del músculo, etc.; problemas, éstos, en los que las curvas ponen de manifiesto que la acomodación es buena, la rama reobásica se localiza alta, el punto útil más a la izquierda que si, con la misma gravedad patológica, se tratara de una denervación. Además, aparece un paráme-

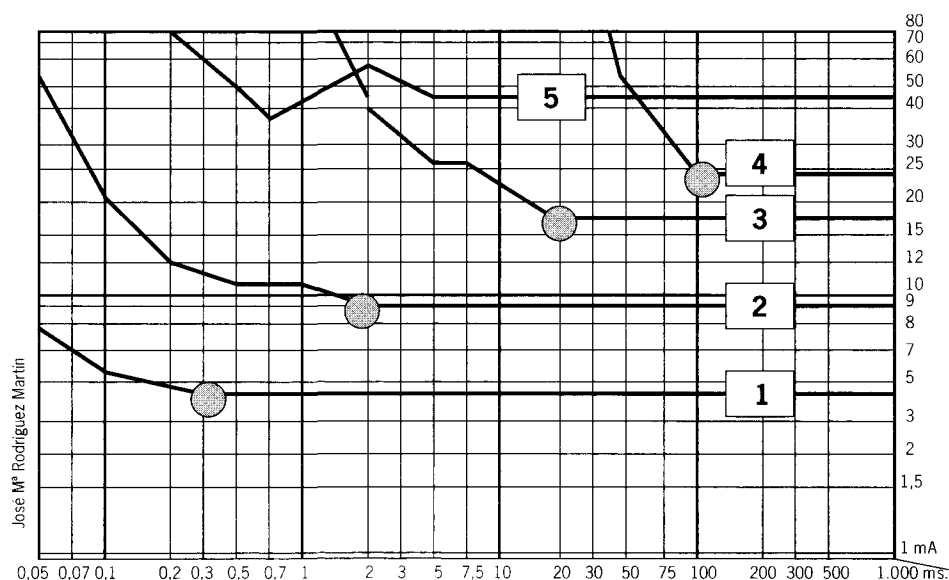


Figura X.27.

tro muy importante: apreciamos cómo en los tramos de tiempos cortos la excitabilidad tiende a recuperarse, por ser los tiempos cortos más selectivos sobre la fibra nerviosa que la muscular. De manera que al estimular las ramificaciones nerviosas motoras que inervan al músculo, éstas harán que el músculo se contraiga con mayor eficacia que con la estimulación eléctrica directa de las fibras musculares (Fig. X. 31).

Trazado de las curvas características de acomodación A/T: (Fig. X. 28)

- *Hiperexcitabilidad.*
- *Normal.*
- *Reacción de retardo parcial (denervación parcial).*
- *Reacción de retardo global (denervación severa).*
- *Fibrosis muscular.*

Si tomamos como partida las curvas de acomodación correspondientes a las anteriormente expuestas como curvas características de IT, podemos estudiar también sobre éstas algunos fenómenos.

Comencemos por analizar, del conjunto, la curva de fibrosis (compárense Figs. X. 27 y 28). En primer término, vemos una quebrada que coincide en el mismo tiempo con la quebrada de la cuadrangular, también invade la vertical de 1 ms para aplicar faradización (aunque resultaría mejor hacer faradización con impulsos de 0,7 ms). Por otra parte, vemos cómo la rama de acomodación anódica asciende con la suficiente angulación como para pensar que no existen problemas de acomodación y, por consiguiente, tampoco denervación. El ángulo de deflexión se encuentra lo suficientemente a la izquierda como para creer en el buen estado del conjunto neuromúsculo.

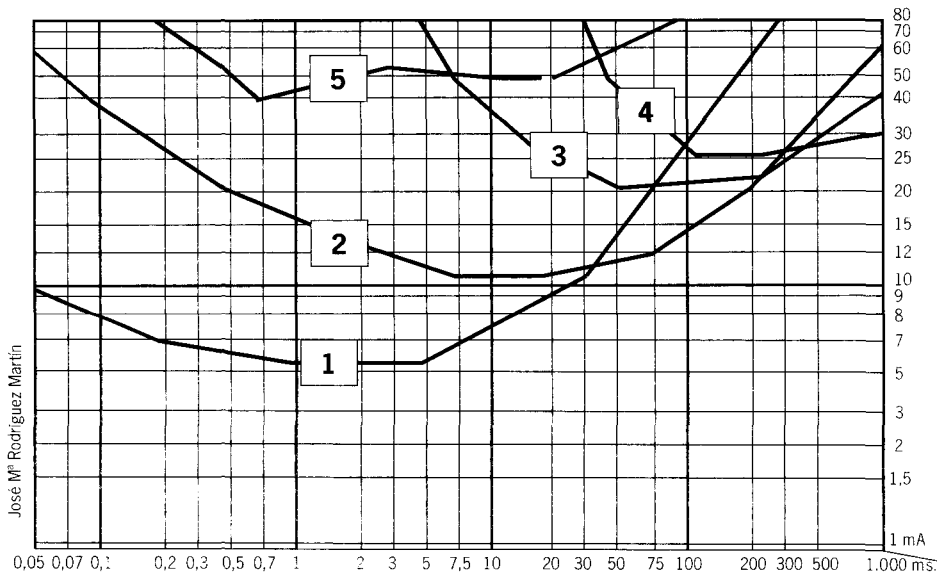


Figura X.28.



El ángulo de deflexión de todas ellas se desplaza progresivamente de izquierda a derecha, en correspondencia al grado de afectación.

Las ramas de faradización o acomodación catódica (del ángulo de deflexión hacia la izquierda) se desplazan más hacia la izquierda cuanto mejor es la respuesta neuromuscular.

Las ramas de acomodación anódica se cruzan entre sí (contemplar y analizar detenidamente la figura X. 28), ya que, cuanto mejor es el estado de respuesta, más ascienden dejando por debajo a los trazados de los más graves.

Si nos fijamos a la derecha de la gráfica, observamos curvas con denervación en las que sus zonas de respuesta quedan por debajo de las de menor afectación, con lo que, si aprovechamos esta circunstancia, podremos estimular selectivamente a los afectados sin llegar a superar el umbral excitomotor de los sanos. Fenómeno que da lugar al *triángulo de utilidad terapéutica* (Figs. X. 21 y 26).

## Resumen

Concretando en algunos ejemplos de curvas más características, representaremos algunas acompañadas de comentarios aclaratorios.

En determinadas circunstancias, no es necesario la exploración de la curva de acomodación, debido a que la representación de la cuadrangular nos aporta los suficientes datos como para aclarar lo pretendido. En otras ocasiones, será el trazado de la triangular la que nos informe de lo deseado sin necesidad de la cuadrangular.

En la práctica cotidiana —y disponiendo de un buen equipo de electroestimulación— casi todos los días, y sobre la marcha de la aplicación del tratamiento, se comprueba rápidamente si está cambiando algún parámetro que nos interese, como: el ángulo de deflexión, el punto útil, la respuesta con 1 ms, la cronaxia, la reobase, triángulo de utilidad terapéutica, etc. De hecho, toparemos con la circunstancia de que no todos los días y en todos los momentos la respuesta excitomotora es semejante. Anotaremos periódicamente controles en las fichas de tratamiento y de seguimiento.

## Hiperexcitabilidad

Suele representar estados o lesiones del SNC o de primera neurona motora, señalando que está contraindicada la electroestimulación motora neuromuscular (Fig. X. 29).

Analizando la cuadrangular, lo primero que nos llama la atención es lo bajo que se dibuja en la gráfica (reobase muy baja), la rama reobásica larga, el punto útil muy a la izquierda y la cronaxia queda fuera de la gráfica.

La curva de acomodación indica buena respuesta acomodativa, tanto en la rama de acomodación catódica como en la de acomodación anódica. En el primer caso, dejando una amplia zona entre ambos trazados. En el segundo, la curva inicia una rápida subida llegando a salirse por el borde superior, de manera que no podemos calcular el índice de acomodación (el cual resultaría muy elevado).

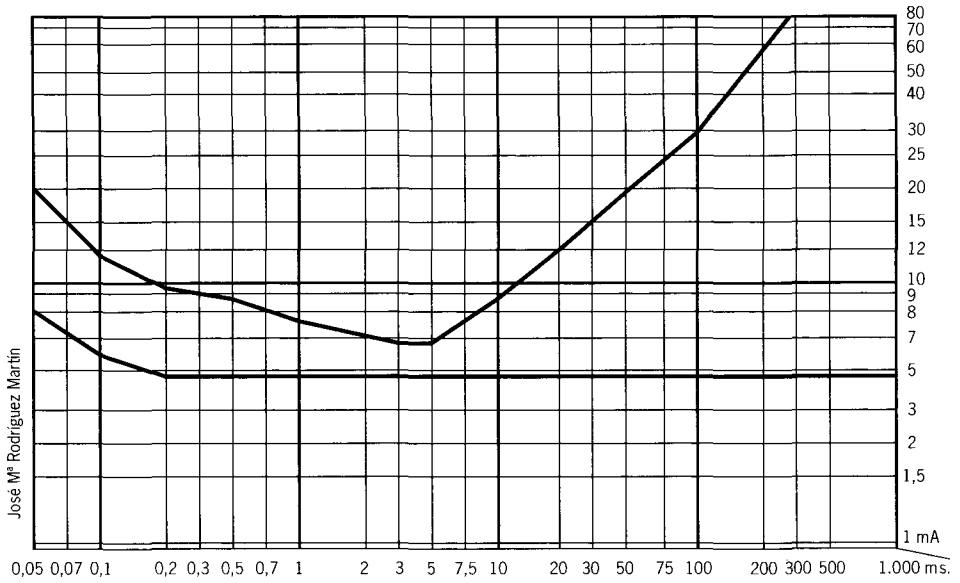


Figura X.29.

### Hipoexcitabilidad

Cuando los estímulos eléctricos que necesitamos aplicar requieren intensidad elevada, se debe a dos causas fundamentales:

- por denervación más o menos severa o
- por degeneración fibrosa o atrofia muscular seria

Tanto en un caso como en otro, las intensidades a aplicar serán altas, pero la representación de ambas curvas son muy distintas.

### Denervación severa

Si la denervación fuese *total*, no podríamos anotar valor alguno de respuesta en las gráficas, ya que, por muy largos y muy altos que sean los pulsos, si ya se ha establecido la degeneración Walleriana, no obtendremos resultados motores.

En las denervaciones severas nos interesa obtener las dos curvas: cuadrangular y triangular. Éstas van a ocupar los sectores del ángulo superior derecha de la gráfica (Fig. X. 30). La rama reobásica corta y bastante alta (reobase alta). La rama cronáxica rápidamente se hace vertical. El punto útil muy a la derecha. La rama de acomodación corta y casi horizontal. El ángulo de deflexión muy próximo al punto útil. La rama de acomodación catódica, al igual que la de cronaxia, se hace rápidamente vertical. En este caso, el ángulo de deflexión pierde el mismo sentido e interpretación que cuando existe buena acomodación. Su interpretación es semejante a un punto útil con triangulares.

El análisis conjunto de ambas curvas revela que transcurren bastante juntas, signo que nos hace ver cómo la respuesta ante los impulsos de subida rápida y ante los de subida

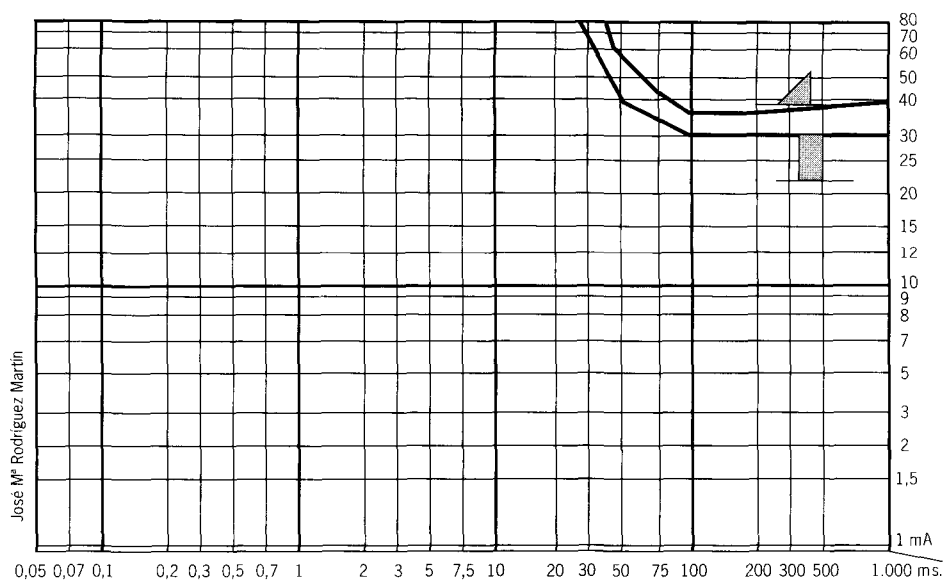


Figura X.50.

progresiva muestra pocas diferencias. O lo que es igual, apenas se acomoda a los impulsos de subida progresiva (característico de la denervación o maltrofismo del conjunto neuromúsculo).

*Las curvas nos indican que el tratamiento adecuado debería estar formado por impulsos cuadrangulares aislados de 100 ms e intensidades superiores a 30 mA. Pero nos encontramos con la dificultad de que a tan alta intensidad, lo más probable es que los sanos de las proximidades respondan antes, por lo que, normalmente, deberemos descartar esta opción y decidirnos por impulsos previamente buscados en el triángulo de utilidad terapéutica. Así, conseguiremos que el músculo afecto se contraiga, mientras que los sanos se acomoden evitando su respuesta motora.*

La razón que nos obliga a realizar el tratamiento con impulsos aislados responde a que la fibra denervada, además de perder acomodación, también pierde velocidad en todas sus reacciones electroquímicas de membrana (respuesta de acomodación, despolarización, respuesta motora y tardanza en la repolarización). Es la repolarización la que nos obligará a distanciar bastante los impulsos, ya que, si van muy juntos, no daremos tiempo a la bomba de sodio/potasio para concluir su trabajo repolarizador de membrana. De no separarlos lo suficiente, apreciaremos cómo, cuando los impulsos se aplican muy seguidos, la respuesta motora disminuye progresivamente. Al separar los impulsos 3, 4 ó 5 segundos, veremos que se mantienen todos en semejante nivel de respuesta.

## Fibrosis muscular

La representación de sendas curvas (Fig. X. 31) ocupa todo el margen superior de la gráfica en su tercio o su cuarto más alto. Ambas pueden presentar escalones, quebradas o

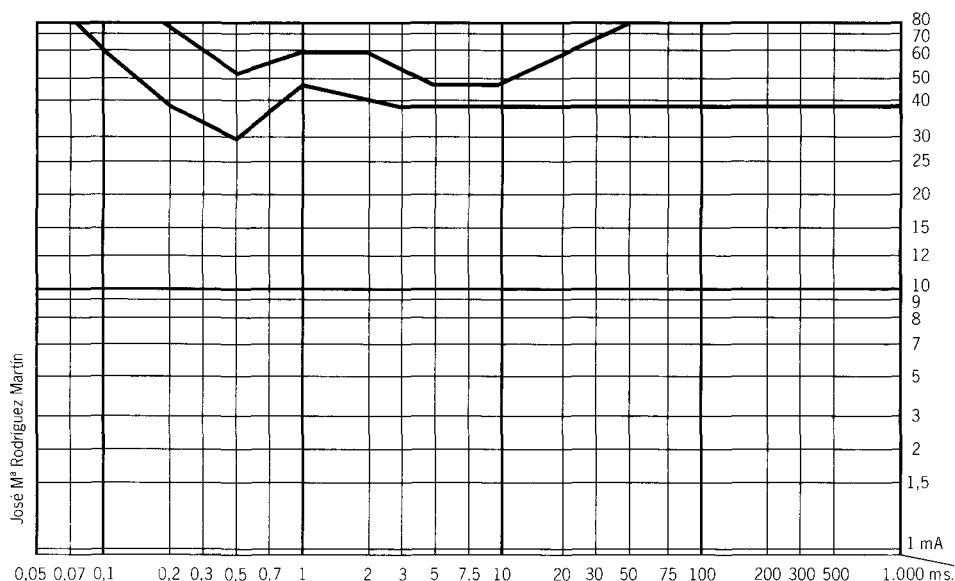


Figura X.51.

picos, es decir, irregularidades. La rama reobásica puede mostrar una longitud normal. La rama cronáxica suele poner de manifiesto irregularidades, quebradas o escalones: indicadores de cambios en la respuesta motora. La reobase está muy alta. La cronaxia puede hallarse en las proximidades de la normalidad. El coeficiente de acomodación puede ser normal (de poder hallarlo) pero, en su defecto, la rama de acomodación anódica sigue una trayectoria lo suficientemente inclinada como para hacernos pensar en buena acomodación, aunque salga de la gráfica por su parte superior antes de tocar la vertical de 1.000 ms. El umbral farádico puede ser marcado próximo a la vertical de 1 ms, aunque, tal vez, convenga elegir otro tiempo y forma más favorables para componer trenes farádicos.

*La corriente debe estar formada por trenes de faradización bien elegidos. En los trazados del ejemplo, se aplicarían trenes formados por impulsos de 0,5 ms y reposos de unos 10 ms con trenes de 2 a 4  $\mu$ g buscando el punto motor nervioso, pues se aprecia que el nervio retoma clara y selectivamente el control.*

## Denervación parcial

Se deben practicar las dos curvas (Fig. X. 32). Resultarán las más variables y más complejas en su interpretación, necesitando una buena información procedente de la historia clínica. La rama reobásica no es tan corta como en las denervaciones serias, ni tan larga como en la normalidad. La rama cronáxica asciende con bastante inclinación, pero lejana de la verticalidad, pudiendo presentar escalones y llegar a cruzar la vertical de 1 ms en su parte más alta (umbral farádico). El coeficiente de acomodación puede localizarse alrededor de 3 ó 4. La rama de acomodación anódica suele dibujarse con una inclinación moderada. El ángulo de deflexión se sitúa entre los 25 y 100 ms. La rama de acomodación cató-

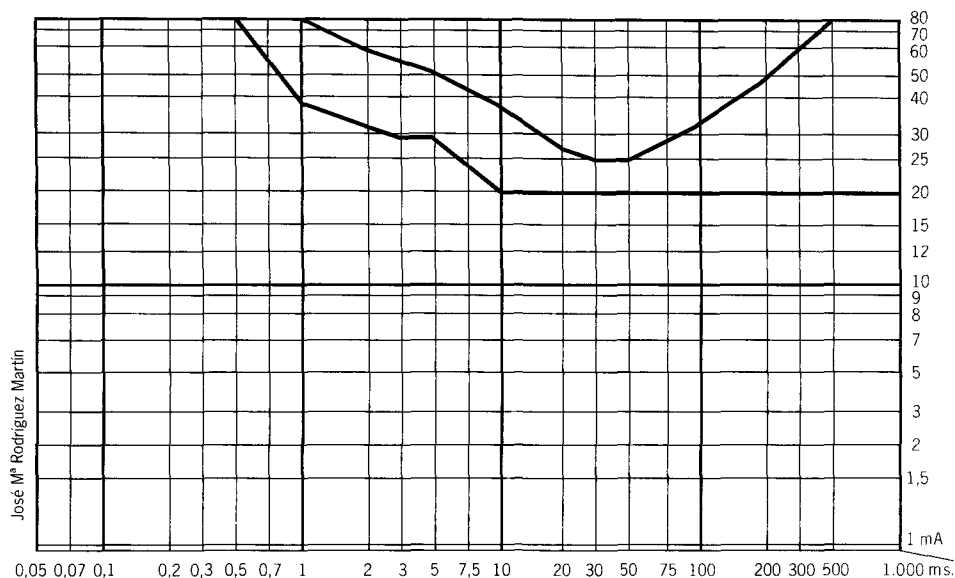


Figura X.52.

dica sube bastante paralela a la cronáxica, pudiendo cortar a la vertical de 1 ms y marcar el umbral farádico.

La duda aparece en el momento en que comenzamos a tocar el umbral de faradización, para decidir la terapia a aplicar, cambiando de impulsos aislados (propios de la denervación severa) a corrientes farádicas o trenes modificados (propios de los estados de normalidad).

Puede interesarnos esperar a que el umbral de faradización refleje una intensidad más baja. Quizá no esta indicada todavía la faradización, por el hecho de que respondan mejor los sanos de las cercanías. Tal vez una farádica de impulsos y reposos distintos a lo normalizado (10 ms de impulso y 30 ms de reposo) dé mejores resultados. Quizá cambiando de método de aplicación: de monopolar a bipolar o viceversa, monopolar en punto nervioso, cambio de polaridad, buscar nuevos puntos motores, etcétera.

Lo que sí conviene es aplicar cuanto antes trenes de faradización con los valores de tiempo en impulso y reposo modificados (siempre que observemos su buena respuesta), con el fin de acelerar y aumentar la eficacia del tratamiento. Al menos, debemos acortar los tiempos de los reposos entre impulsos (si fueran aislados) para hacer trabajar más y mejor al nervio o músculo parcialmente denervados.

Cuando las curvas se encuentran en esta zona intermedia, pueden representar multitud de situaciones poco fáciles de interpretar, circunstancia que nos obliga a buscar información en la historia clínica para entender la posible patología mostrada. Pero estas curvas nos serán de gran utilidad en los casos en que los tratamientos con estimulación eléctrica no respondan como sería nuestro deseo sin entender el porqué. Las curvas obtenidas nos aclararán dudas y nos indicarán el mejor tratamiento posible (**no se trata de precisar diagnóstico**).

Si hacemos exploraciones periódicas, apreciamos la evolución de la patología y su forma de mejorar o empeorar:

- si degenera o mejora predominantemente el nervio, o
- si degenera o mejora predominantemente el músculo.

Las curvas situadas en esta zona reflejan simultáneamente, problemas degenerativos nerviosos o problemas degenerativos musculares (fibrosis muscular), aunque solamente se deba a una patología *sin denervación* muy prolongada en el tiempo.

Es muy interesante la observación habitual por comparación de dos patologías semejantes, pero una tratada con electroestimulación y la otra sin tratar, quedando reflejado en la gráfica cómo la fibrosis muscular apenas se aprecia en la patología tratada, mientras que se hace claramente manifiesta en la no tratada. Fibrosis que si, inmediatamente, se le aplica un tratamiento bien diseñado con ayuda de las curvas, se conseguirá mejorías espectaculares en las primeras fases del tratamiento.

Los procesos que se iniciaron como denervación, si no se trataron adecuadamente, conducirán a fibrosis del músculo. Pasado un tiempo, al trazar las curvas, nos *pueden indicar* que el nervio ha recuperado su función, pero el músculo no puede responder.

*Debido al desprestigio de esta exploración, desprestigio «provocado con el surgimiento de la electromiografía», nos estamos olvidando de su utilidad y posibilidades para seguimiento y precisión en los tratamientos.*

Es frecuente que, después de una etapa larga de tratamiento a una denervación, el paciente sea dado de alta temporalmente, esperando la evolución electromiográfica al cabo de dos o tres meses.

Al dejarnos el paciente por el alta temporal, los parámetros eléctricos se hallaban mantenidos o con moderada tendencia a evolución de mejoría, pero a la vuelta del paciente, y reiniciar el tratamiento con electroestimulación, detectamos un brusco empeoramiento en el comportamiento eléctrico del conjunto neuromúsculo.

Es importante realizar un seguimiento en fichas de datos semejantes a las de páginas (anteriores) o, al menos, algunos datos fundamentales para demostrarnos a nosotros mismos y a quien proceda, la importancia de un tratamiento con la debida precisión.

## **Tratamiento de parálisis facial**

Las parálisis faciales pueden presentar diversos pronósticos dependiendo del tipo de lesión sobre el trigémino o alguno de sus nervios.

Muchas lesiones implican una severa neurotnesis, por lo que el pronóstico será malo; pero, hasta que no se compruebe, debemos intentar el tratamiento con estimulación eléctrica.

Por suerte, gran número de lesiones son neuropraxias o, como mucho, neurotnesis, de recuperación total o parcial. Es aquí donde está muy indicado el tratamiento con electroestimulación.

La técnica tiene que ser muy precisa y cuidadosa, lógicamente, por la gran sensibilidad de la zona y los posibles efectos colaterales (zumbidos auditivos, visión de destellos, sabores a lejía o a ácido, salivación excesiva, picor de garganta, espasmos de glotis, mareos o sensación de agobio, etc.). Situaciones que debemos evitar y prevenir al paciente para que éste no se alarme y, por el contrario, nos las comente para corregirlas.

Por otra parte, debemos considerar posibles artefactos metálicos sobre la piel (adornos) o en el interior de la boca, normalmente procedentes de trabajos para el mantenimiento dental.

La técnica requiere:

- dedicación personalizada y manual durante el tratamiento;
- ajustar los parámetros de tiempos, forma y, sobre todo, intensidad de los pulsos;
- uso de un electrodo puntual manual (Fig. X. 33);
- utilización de un electroestimulador que permita aplicar la técnica con la pureza requerida;
- controlar en todo momento la situación del electrodo y parámetros eléctricos del paciente;
- conocer bien los músculos de la cara y sus puntos motores (Fig. X. 34).

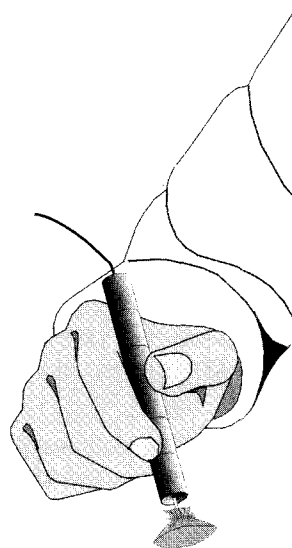


Figura X.55.

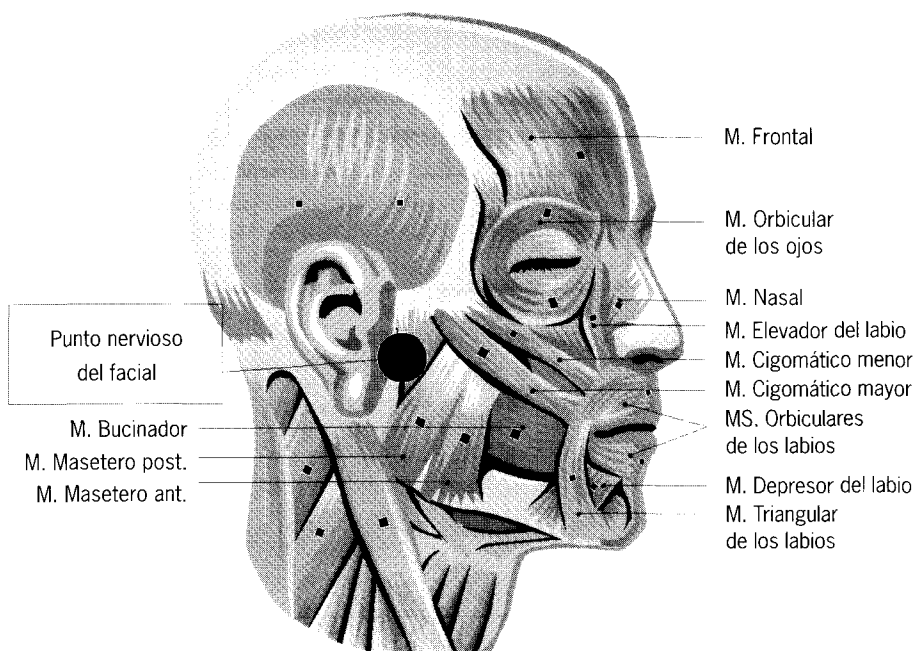


Figura X.54.

- adaptar los parámetros eléctricos a la afectación de cada músculo;
- comentar con el paciente en todo momento la evolución de la sesión;
- cambiar cada cuatro o cinco minutos de músculo tratado para volver a realizar el recorrido varias veces en la misma sesión;
- cuidar de no fatigar la musculatura tratada o provocar dolores neurálgicos;
- llevar un seguimiento en fichas para tal función de la evolución de cada músculo tratado;
- ir adaptando los parámetros eléctricos a la evolución del paciente.

Una de las grandes dificultades de este tratamiento se halla en la diferente afectación de las tres ramas nerviosas del facial (frontal, maxilar superior y maxilar inferior) y, como consecuencia, los diferentes niveles de respuesta de los músculos interesados. Ello nos obligará a considerar cada músculo como independiente y, en cada uno de los afectados, a localizar bien el punto motor (y memorizarlo), a buscar el tiempo de pulso mejor, el reposo más adecuado, la forma triangular o cuadrangular (seguramente triangular) y elevar la intensidad lentamente hasta conseguir la respuesta motora pretendida. Véase epígrafe «Tratamiento de las denervaciones severas».

Si no conseguimos la respuesta motora deseada en cada uno de ellos, normalmente no se deberá a su imposibilidad para contraerse; seguramente estará en fallos de la técnica, que, debemos depurar afinando:

- en la búsqueda de su punto motor;
- es muy importante operar con diferentes tiempos de pulso triangulares en relación con sus vecinos;
- variar la intensidad con el debido cuidado para no causar molestias desagradables por descuidos;
- siempre que se modifiquen los parámetros o se mueva el electrodo, bajar previamente la intensidad.

Dado que las parálisis son tratadas con pulsos aislados separados 2 ó 3 sg, si apreciamos que las primeras respuestas son buenas y las sucesivas decaen, aumentaremos en más segundos el tiempo de reposo.

Como vemos (Figs. X. 35 y 36), un electrodo es manual y pequeño para seleccionar y diferenciar en lo posible cada músculo (moverlo únicamente entre pulso y pulso). El otro electrodo será bastante mayor en tamaño y actuará de indiferente o masa. Una posibilidad de fijación de este electrodo será la cara posterior de la hemicintura escapular del mismo lado (bajo el paciente cuando se tiende en decúbito supino) (Fig. X 35) y la otra sobre la salida del nervio facial (Fig. X. 36), con un electrodo no tan grande como el usado en la espalda. Si este electrodo fuera muy extenso, no nos permitiría la adecuada libertad de movimientos con el puntual.

La salida del facial puede utilizarse como punto motor nervioso y activo para conseguir la respuesta de todos los músculos inervados por éste; pero, en la práctica, nos veremos



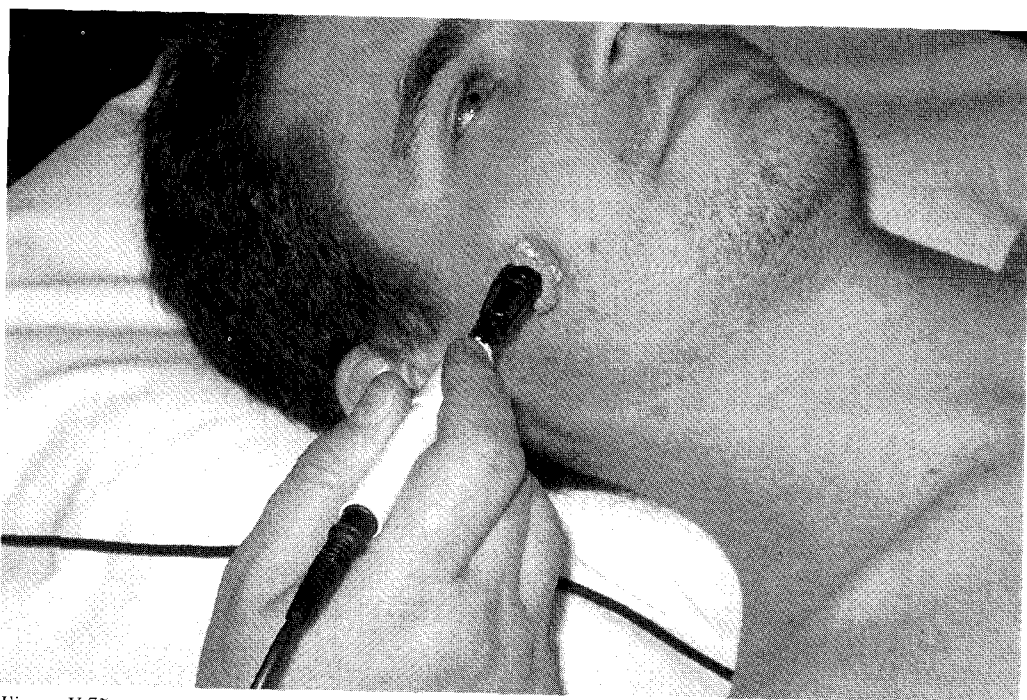


Figura X.55.

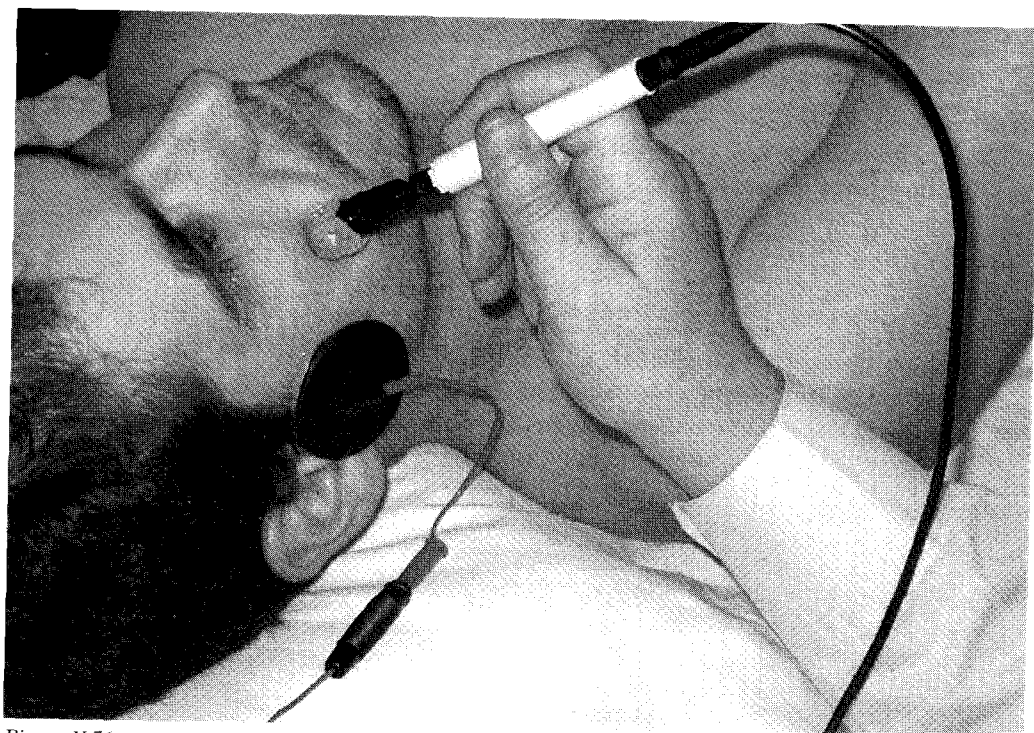


Figura X.56.

obligados a trabajar músculo a músculo, dado que cada uno responderá a parámetros diferentes.

El adecuado tratamiento debe contemplar la opción de aplicación del punto motor nervioso del facial y del tratamiento manual de los diferentes músculos con sus puntos motores musculares. En el nervioso, trataremos predominantemente el nervio y las sinapsis neuromusculares; en los puntos musculares, trataremos de forma dominante la sinapsis neuromuscular y músculo.



## CAPÍTULO XI

### Faradización neuromuscular

Cuando pretendemos conseguir contracciones musculares mediante aplicación de estimulación eléctrica transcutánea, clásicamente se ha conseguido con corrientes pertenecientes al grupo de interrumpidas galvánicas, con dos formas fundamentales:

- con impulsos aislados cada cierto tiempo, para que cada impulso produzca una única contracción, y
- si deseamos una contracción muscular mantenida durante unos segundos, será con impulsos agrupados en trenes o ráfagas.

En caso de trenes, los impulsos deben ir lo bastante juntos como para que el músculo no presente clonus o contracción vibratoria y lo suficientemente separados entre sí, como para no impedir la repolarización de la membrana en la fibra muscular.

Estas agrupaciones de impulsos o trenes reciben el nombre de *trenes de farádicas* o *faradización muscular*.

Luego corrientes farádicas son aquellas que resumen las siguientes características (Fig. XI. 1):

- son corrientes de baja frecuencia;
- están destinadas a producir contracción muscular mantenida durante unos segundos;

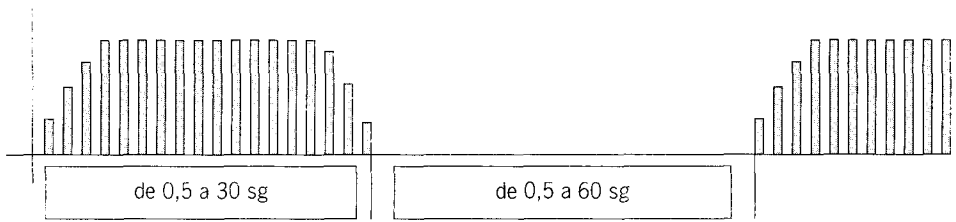


Figura XI.1.

- los trenes están formados por impulsos cuadrangulares o triangulares (en la actualidad cuadrangulares);
- se aplican durante unos segundos seguidos de pausas, también de segundos;
- los tiempos de aplicación mantenida de un tren puede oscilar entre 0,5 y 30 sg;
- los tiempos de pausa entre trenes pueden estar comprendidos entre 0,5 y 60 sg;
- los trenes prolongados e intensos deben ser de implantación progresiva y decaimiento progresivo.

### Análisis de un tren de impulsos

- la frecuencia de los trenes puede estar en la banda de 10 a 200 Hz;
- cada impulso es de subida rápida o progresiva (cuadrangulares o triangulares) con un tiempo de duración regulable y comprendido entre 0,1 a 10 ms;
- los reposos entre impulsos, regulables de 5 a 50 ms;
- la amplitud de los impulsos es regulable.

#### 1. IMPULSOS Y REPOSOS

De las figuras XI. 1 y 2 podemos hacer dos observaciones importantes:

- a) *la duración de cada impulso es mucho menor que la del reposo y*
- b) *los impulsos van agrupados en trenes.*

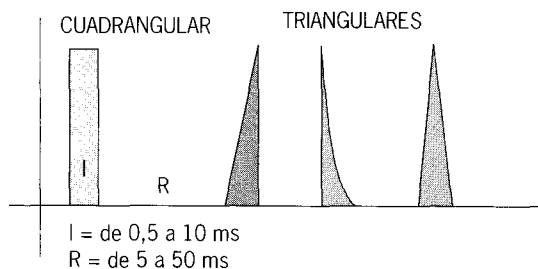


Figura XI.2.

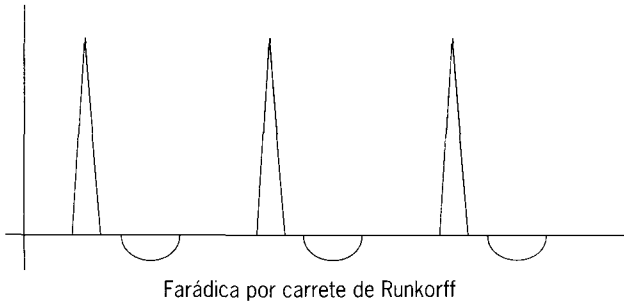


Figura XI.5.

En sus orígenes, la forma de conseguir los trenes de farádicas se apoyaba en el carrete de Runkorff, artilugio eléctrico basado en el giro de bobinas que generaba impulsos o picos triangulares (Fig. XI. 3) con cierto componente de la fase o polaridad opuesta.

Después fueron desarrollados circuitos electrónicos, por descarga de condensador, que conseguían impulsos de subida rápida y bajada progresiva, poco eficaces, debido a la baja potencia alcanzada en la parte más alta del impulso (ver parte superior de la figura XI. 4). Es conveniente recordar que potencia es el producto del voltaje por la intensidad; y en estos impulsos, en su parte más elevada, se consigue mucho voltaje, pero intensidad poco duradera y, consecuentemente, poca potencia, con lo que el resultado excitomotor se reduce de forma importante.

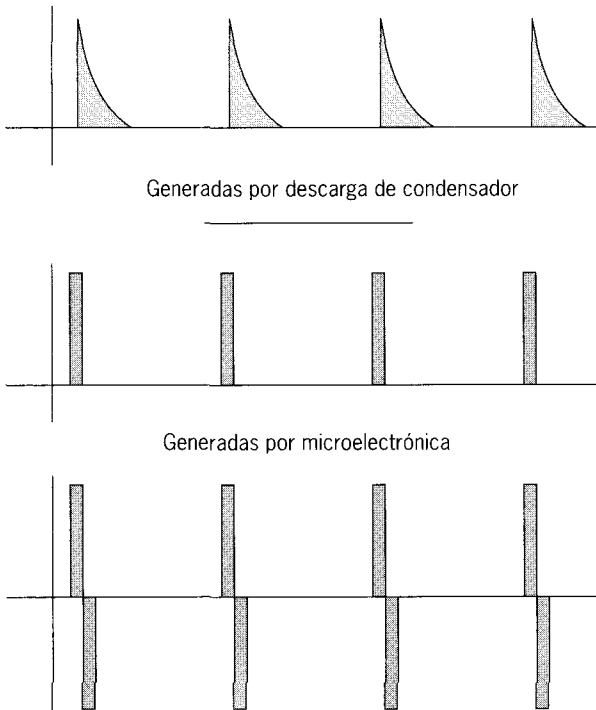


Figura XI.4.

Estas deficiencias se han resuelto desde el momento en que los circuitos electrónicos permiten conseguir con perfección impulsos de forma cuadrangular que mantienen en el impulso el voltaje y la intensidad durante toda su forma y tiempo, aunque sean muy cortos, dando resultados de mayor eficacia excitomotriz y excitosensitiva, además de versatilidad en el control preciso de la duración de los impulsos y de los reposos. En la actualidad, se han sustituido todas las anteriores por ondas semejantes a las representadas en la zona media y baja de la figura XI. 4.

Esta modalidad de farádicas con impulsos cuadrangulares y posibilidades para regular por separado los tiempos de los impulsos y de los reposos conduce al apelativo de *neofarádicas*, aunque desde el momento en que se emplearon impulsos por descarga de condensador, ya se les comenzó a denominar así. Sean como *farádicas* o como *neofarádicas*, lo importante es tener presente las posibilidades de combinación entre la forma y los tiempos para adaptarse a cada necesidad en concreto.

En las últimas generaciones de estimuladores, se añade la posibilidad de aplicar pulsos con polaridad simple o doble, es decir, bifásicos. Ya que éstos consiguen, todavía, mejor respuesta que los cuadrangulares simples.

La menor respuesta motora se alcanza con pulsos monofásicos triangulares, mejora con los monofásicos cuadrangulares y la mayor se obtiene con cuadrangulares bifásicos (si no se reduce a la mitad el pulso para hacerlo bifásico).

### Frecuencia de las farádicas

Al exponer las características de las corrientes farádicas, queda dicho más arriba que su frecuencia oscila entre 10 y 200 Hz. Ello viene dado por el respeto a la respuesta fisiológica del nervio y músculo normales y la combinación entre los tiempos de los impulsos con los tiempos de los reposos.

El músculo estriado normal necesita de 10 Hz para mantener su contracción sin interrupciones, aunque vibratoria. Por otra parte, si elevamos excesivamente la frecuencia, juntaremos tanto los pulsos, que acabaremos interfiriendo en el proceso de repolarización de membrana.

La fórmula para hallar la frecuencia es la siguiente:

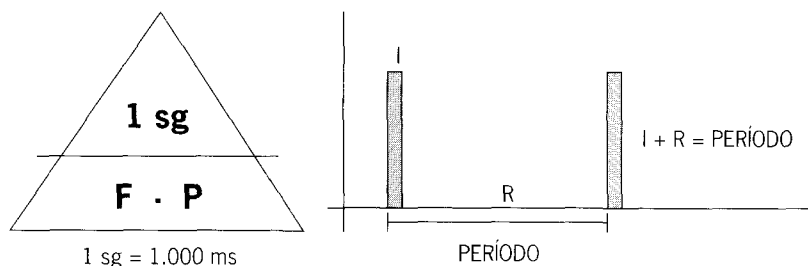


Figura XI.5.

Pongamos que combinamos 0,1 ms de impulso más 5 ms de reposo, el período será de 5,1 ms. Luego,  $1.000/5,1 = 196$  Hz.

Así, tomemos los valores más altos y veamos la nueva frecuencia, extremo bajo de la tabla. Tenemos 10 ms de impulso más 50 ms de reposo. El período será de 60 ms como consecuencia de dividir  $1.000/60 = 16,6$  Hz.

Entraremos en el análisis de algunos fenómenos, iniciándolo por las razones que obligan a que los reposos entre impulsos sean bastante más largos que los propios impulsos.

### Tipos de fibras musculares

Haciendo una somera introducción sobre el comportamiento contráctil de las fibras musculares no denervadas, diferenciaremos dos clases:

- *lentas o rojas* (tipo I) y
- *rápidas o blancas* (tipo II).

A su vez, las rápidas de tipo (II) se subdividen en (IIa) y (IIb), yendo, respectivamente, de menor a mayor velocidad de respuesta y trabajo.

Cada una de ellas y sus agrupaciones en fascículos musculares se van a especializar en un determinado tipo de trabajo muscular; aunque cada músculo posee de todas, con predominio de unas sobre otras en porcentajes que oscilan desde el 40 al 60%.

Pero esta clasificación se da solamente en estados normales de las fibras musculares, dado que los procesos patológicos alteran la velocidad de respuesta contráctil, tanto directa del músculo como la provocada por el nervio que inerva la placa motora.

Para las explicaciones de este fenómeno, se suelen tomar como referencia las **fibras lentas de un músculo sano normal**.

La fibra muscular no es otra cosa que la *célula muscular* con su capacidad o especialización de cambiar el tamaño acortándose longitudinalmente.

La fibra muscular está formada por la membrana, el citoplasma y su núcleo, pero nos fijaremos en la membrana como punto de partida, ya que en su cara interna encontramos carga eléctrica (*negativa*) debida a la composición iónica, mientras que fuera, y también por distinta composición iónica, existe carga (*positiva*).

Por consiguiente, su desequilibrio eléctrico o polarización puede alcanzar hasta  $-100$  mV, polarización de membrana, que en el momento de despolarizarse desencadenará reacciones e intercambios químicos que obligarán a la fibra muscular a contraerse.

*Estas reacciones electroquímicas requieren un tiempo determinado para realizarse en su ciclo completo, desde el momento en que es aplicado un impulso eléctrico (bien por vía nerviosa o por vía de electroestimulación) hasta que se recupera la polarización eléctrica de la membrana* (Fig. XI. 6).

Dicho tiempo total, y para fibras lentas, está establecido alrededor de los 20 ms de media, desglosado de la siguiente forma:

*Período de latencia (PL) = ± 5 ms.*

*Período activo (PA) = ± 1 ms.*

*Período de repolarización (P. de Rp.) = ± 14 ms.*

El tiempo total de respuesta bioeléctrica para fibras rápidas puede resultar de 4 a 5 ms, como sigue:

*Período de latencia (PL) = ± 0,5 ms.*

*Período activo (PA) = ± 0,5 ms o menos.*

*Período de repolarización (P. de Rp.) = ± 4 ms.*

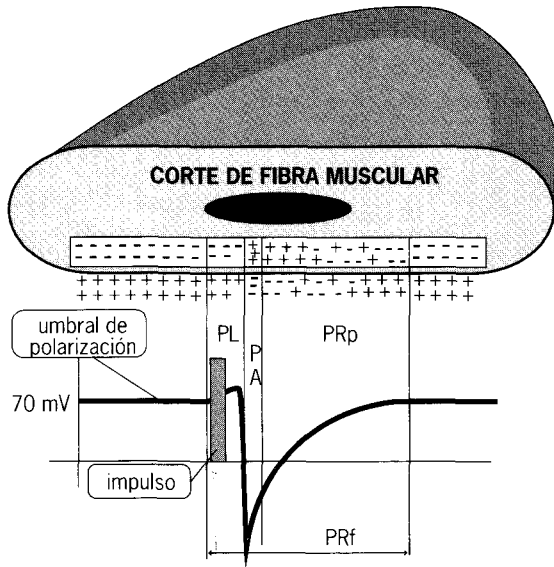


Figura XI.6.

*Período de latencia (PL)*

Es el tiempo que tarda el impulso aplicado en provocar la ruptura del umbral de polarización; tiempo empleado en movilizar iones de la zona hasta conseguir que la membrana se haga permeable iónicamente. Bruscamente se producirán las reacciones químicas que desencadenarán la contracción y entrada en él.

*Período activo (PA)*

Momento de apertura o despolarización de la membrana, donde se desencadena la respuesta contráctil de la fibra muscular debido a intercambios químicos espontáneos e impulsados por el desequilibrio electroquímico al hacerse conductora la membrana.

*Período de repolarización (P de Rp)*

Una vez desencadenado el proceso de contracción (que no concluido), la fibra entra en un período de recuperación electroquímico, **mientras mecánicamente sigue contraída**,



momento en que trabaja la bomba de sodio/potasio para devolver la polarización. Al final de este tiempo, se encuentra preparada para ser estimulada de nuevo con respuesta de contracción normal y completa. **Si aplicamos otro impulso antes de finalizar el proceso bioeléctrico, la fibra no presentará respuesta contráctil completa, pues se encuentra en el llamado período refractario.**

### *Período refractario (PRf)*

Es la suma de tiempos correspondiente a los tres periodos, establecido, en este caso, en unos 20 ms. Este período debe respetarse sin estimulación eléctrica.

Llegado a este punto, podemos comprender el porqué de los reposos de 20 ms que separan a impulsos de 1 ms, contenidos en los trenes de faradización normalizados por los aparatos convencionales de electroestimulación, es decir, esperaremos 20 ms para permitir a la fibra muscular que complete su ciclo electroquímico y que se encuentre dispuesta para recibir otro estímulo que desencadene la misma respuesta de contracción.

Estos tiempos considerados medios y normales en fibra lenta pueden alterarse en cualquiera de sus tres tramos por múltiples razones:

- afectaciones neurológicas;
- influencias de fármacos que incidan en el potasio, sodio, calcio;
- alteraciones metabólicas;
- alteraciones de aporte nutritivo o fallo circulatorio;
- intoxicaciones;
- nivel de entrenamiento;
- grado de fatiga;
- alteraciones hormonales;
- tipo de fibra más abundante del músculo en estudio;
- y todas aquellas que puedan influir en la composición iónica o movilidad de los iones en la proximidad y dentro de la membrana de la fibra muscular, etcétera.

En la curva (I/T) o cuadrangular se reflejan tres parámetros básicos para la aplicación de faradización y son (Fig. XI. 7):

- el punto útil muscular,
- el punto útil nervioso y
- el vértice del escalón (umbral de faradización).

**Si pretendemos estimular directamente a la fibra muscular, usaremos el tiempo del punto útil muscular y los electrodos situados en modo bipolar;** aunque, normalmente, requerirá retoque en el tiempo para no sobrepasar los 10 ms.

**Si deseamos estimular directamente al nervio, utilizaremos el tiempo del punto útil nervioso y colocación de electrodos en modalidad monopolar en punto motor nervioso.**

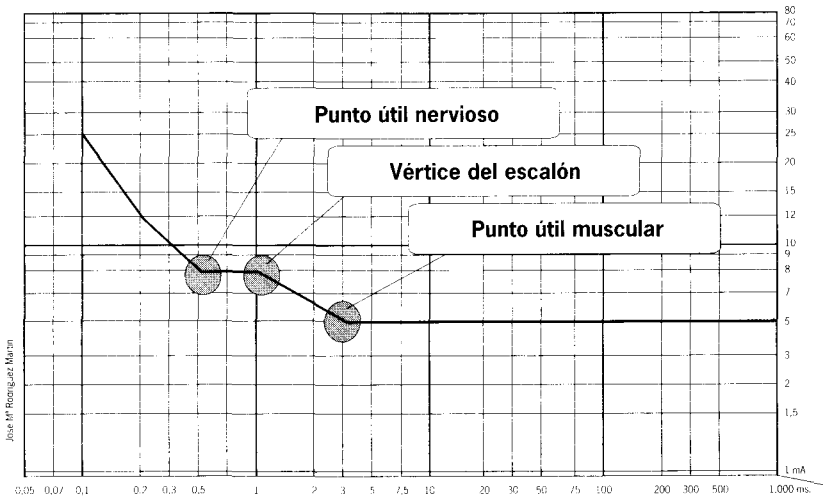


Figura XI.7.

Si intentamos estimular simultáneamente a nervio y músculo, emplearemos el tiempo señalado por el vértice del escalón y colocación en modalidad monopolar en placa motora.

Recordemos que el punto o tiempo de faradización se ha establecido en la vertical de 1 ms, pues la estadística en respuestas de conjuntos neuromusculares normales da como media que el vértice del escalón se localice entre 1 y 2 ms.

El tiempo de reposo se refleja en la curva de (A/T) (Fig. XI. 8), localizado concretamente en el ángulo de deflexión. Éste suele tomar la forma de un valle, en la mayoría de los casos, más que una angulación, indicándonos varios tiempos o los tiempos mejores con los que se respetaría la repolarización de la membrana.

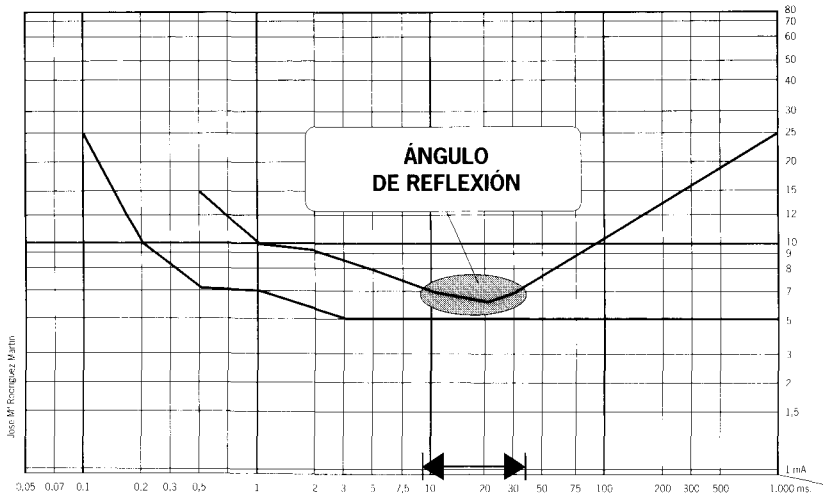


Figura XI.8.

Los tiempos cortos (situados a la izquierda del valle) los emplearemos para fibra rápida y nervio, mientras que los tiempos largos del ángulo de deflexión (situados a la derecha del valle) serán los reposos para formar los trenes que estimularán a la fibra muscular lenta. Si deseamos encontrar los mejores tiempos con precisión, acudiremos al trazado de la curva intensidad/frecuencia (I/F), que más adelante se describirá.

Las fibras *rápidas* (como se dice más arriba) poseen un ciclo *electroquímico* de unos 5 ms, las medias alrededor de 10 y las lentas hacia los 20.

## 2. TRENES DE IMPULSOS

La otra observación que llamaba la atención en las figuras XI. 1 y 2 antes indicadas se refiere a la agrupación de los pulsos en trenes. Con ello se trata de conseguir una contracción mantenida del músculo en lugar de contracciones aisladas más o menos separadas, las cuales no desarrollan más que la propiocepción de contracción muscular.

Por lo dicho anteriormente, con referencia al tiempo que necesita una fibra para su recuperación electroquímica (**unos 20 ms**) podría parecer que la apreciación mecánica de contracción fuera temblorosa (Fig. XI. 9). Nada más lejos de la realidad, ya que **no coinciden los tiempos del ciclo electroquímico con el ciclo de contracción mecánica**.

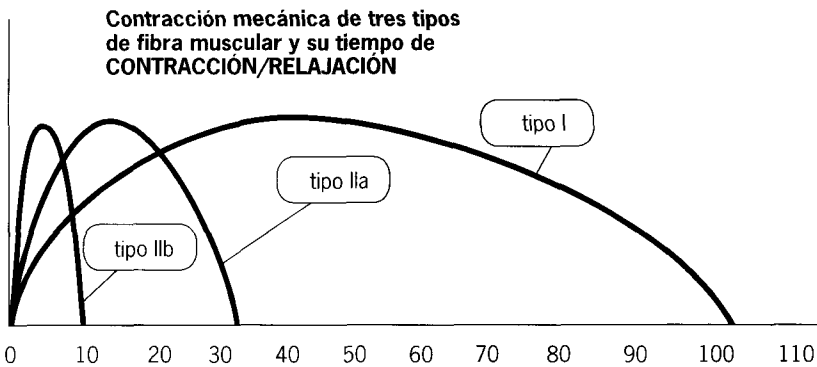


Figura XI.9.

Si sometemos una fibra lenta a un impulso aislado, palpando la contracción, ésta se realiza durante 100 ms, mientras que a los 20 ms la membrana ya está preparada para poder responder a otro impulso eléctrico (se insiste en que estamos hablando de tiempos medios, pues cada conjunto neuromuscular mostrará los suyos específicos en cada momento y situación).

Este tiempo de contracción o acortamiento de las fibras musculares (100 ms) se divide en dos períodos consecutivos:

- tiempo de contracción ( $\pm 40$  ms) y
- tiempo de relajación ( $\pm 60$  ms).

Si pretendemos mantener la contracción durante unos segundos, aplicaremos impulsos con la suficiente secuencia como para no dejar que la fibra entre en el período de relajación, pero permitiendo simultáneamente la recuperación bioquímica y eléctrica en la membrana celular (Fig. XI. 10).

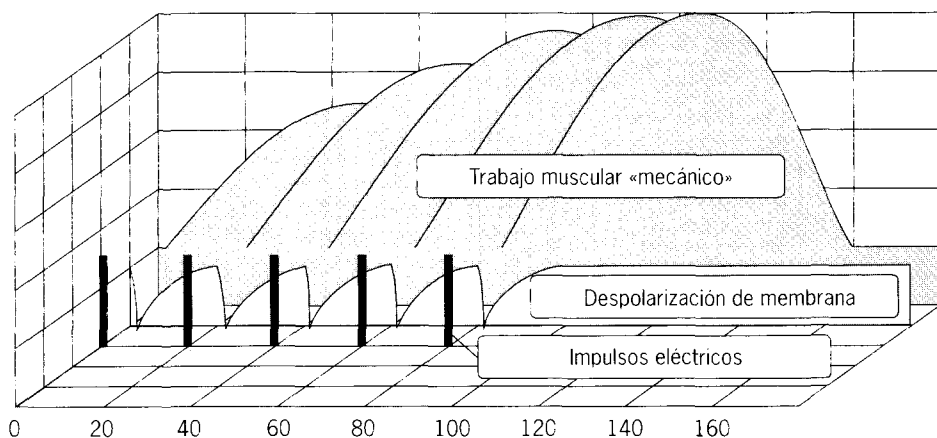


Figura XI.10.

Volviendo a la faradización clásica, si los impulsos son aplicados con una separación de 100 ms, cada impulso conseguirá un nivel de contracción semejante. *Pero, si los impulsos se acercan entre sí de acuerdo con el período refractario (en este caso unos 20 ms), el primero iniciaría la contracción y los siguientes provocarán un efecto sumativo sobre el nivel alcanzado por los anteriores.*

Estos impulsos no deben mantenerse durante toda la sesión, pues el músculo entraría en agotamiento y fatiga con el consiguiente daño por lesión en su estructura anatómica, circunstancia que obliga a practicar interrupciones cada cierto número de segundos (pausas), de igual o mayor tiempo que el tren, con objeto de permitirle descanso.

El tiempo que mantenemos contraído un músculo o grupo muscular depende mucho de los objetivos buscados y del estado del paciente. Puede cambiar la situación de un paciente anciano o gran encamado, para iniciar una tonificación o propiocepción muscular, comparada con los intentos de potenciación en un deportista de élite durante la última etapa de su recuperación. En el primer caso, tal vez 2 ó 3 sg de trabajo sean buenos, seguidos de descansos (pausas) de 4 ó 5 sg, mientras que para el deportista podríamos aplicarle trenes de 15 ó 20 sg entre pausas más o menos prolongadas, dependiendo de la metodología potenciadora.

Al igual que, como más arriba queda explicado, los tiempos de restablecimiento biológico se alteran con afecciones patológicas. También el tiempo de permanencia en estado de contracción se acorta notablemente. Lógicamente, el tiempo de restauración energética o pausa se alarga. Si estos tiempos se alteran en exceso, apreciaremos que no hay respuesta a los trenes, sintiéndonos obligados a aplicar impulsos aislados (seguramente triangulares) fundamentalmente en denervaciones parciales.

Dicho enlentecimiento se produce en alteraciones del nervio periférico, en alteraciones de la placa motora, y toda una serie de deficiencias metabólicas, músculos en desuso, atrofiados. En cambio, cuando las alteraciones son por parálisis central acompañadas de espasticidad, clonus o ataxia, se acortan los tiempos porque el arco reflejo está conservado y abandonado del control coordinador e inhibitorio de la corteza. Si en estos casos aplicáramos electroestimulación neuromuscular con farádicas, acentuaríamos dichos procesos que por sí solos ya causan invalidez.

Tal vez en el caso de una parálisis central de tipo flácido pudiera aconsejarse faradización (previa exploración con una *curva* (I/T)) para intentar despertar los reflejos tendinosos (circuito alfa-gamma) y llegar a causar cierto nivel de espasticidad, obligándonos a interrumpir el tratamiento en cuanto se aprecien los primeros signos de los objetivos propuestos.

## TRATAMIENTOS CON FARÁDICAS

Las bases fundamentales que nos van a regir para elegir los tiempos de impulso y reposo vienen dadas por el tipo de fibra muscular o nerviosa que compone el músculo o el nervio al que se le aplica, ya que una fibra rápida requiere impulsos cortos ( $\pm 0,5$  ms) y reposos cortos ( $\pm 5$  ms). Las lentas requieren impulsos largos ( $\pm 2$  ms) y reposos largos ( $\pm 20$  ms). Las medias, los intermedios. Siempre hablando de musculatura o nervios normales.

Además de lo expuesto en la siguiente tabla, existen entre ambos tipos de fibras musculares más diferencias, como:

- cuando los músculos se ven sometidos a alteraciones funcionales, los de fibra lenta o estáticos tienden a degenerar, acortándose. Sin embargo, los de fibra rápida o dinámicos degeneran, elongándose;
- dentro de unos límites, los músculos se pueden entrenar y especializar en trabajos propios de fibras lentas o rápidas;
- se ha observado que cuando la raíz de inervación del músculo se halla sometida a irritación, el músculo pierde porcentaje de fibras rápidas;
- en otros estudios también se ha podido constatar que en las escoliosis «idiopáticas» aparece distinta proporción de fibras en los músculos simétricos y contralaterales; de manera que en el lado de la concavidad abundan más las fibras lentas que en el lado de la convexidad.

Cuestiones que deben tenerse en cuenta tener en cuenta cuando hagamos recuperación funcional a los pacientes de las distintas zonas, miembros o grupos musculares, condicionando la faradización empleada al tipo de músculo, objetivos que deseamos de dicho músculo, situación patológica y adaptación al tipo de persona en cuanto a su abundancia o porcentajes de fibras lentas y rápidas.

Veamos en una tabla XI. I las características más sobresalientes de unas y otras:

TABLA XI. 1

Fibra lenta	Fibra rápida
Reciben el nombre de rojas por tener más mioglobina que las blancas	Reciben el nombre de blancas por tener menos mioglobina que las rojas
Son de menor grosor que las rápidas	Son incluso el doble de gruesas que las lentas
Desarrollan menor fuerza que las rápidas	Desarrollan incluso dos veces más fuerza que las lentas
Tiempo de contracción mecánica largo: 100 ms	Tiempo de contracción mecánica corto: 10 ms o menos
Tiempo de respuesta bioeléctrica: 20 ms	Tiempo de respuesta bioeléctrica: 4 a 5 ms
Impulsos de 1 a 2 ms	Impulsos menores de 1 ms
Frecuencia de trenes bajas: 50 a 70 Hz, trenes cortos y suaves, menos de 10 sg	Frecuencia de trenes mayores: 80 a 200 Hz, trenes largos e intensos, más de 10 sg
Umbral o nivel de polarización bajo	Umbral de polarización alto
Consumo energético aeróbico y sin residuos	Consumo energético anaeróbico con residuos de ácido láctico
Poca fuerza y buena resistencia a la fatiga	Mucha fuerza y poca resistencia a la fatiga
Predomina en los músculos de la estática	Predomina en los músculos de la dinámica
Abundan más en los músculos longitudinales	Abundan más en los músculos oblicuos y transversos
En un esfuerzo muscular, se contraen antes que las rápidas	En un esfuerzo muscular, se contraen después que las lentas
En el ejercicio mantenido y con poco esfuerzo, trabaja la fibra lenta	En ejercicio con gran esfuerzo y con reposos, trabajan las fibras rápidas
En corredores de maratón y ciclistas, predomina la fibra lenta	En corredores de 100 metros y saltadores, predomina la fibra rápida
El banco de Colson trabaja selectivamente las fibras lentas sin afectar a las rápidas	El método de D'Elorme busca trabajar <i>basta</i> las fibras rápidas
Los isocinéticos lentos y con gran esfuerzo consiguen trabajar la fibra rápida	Los isocinéticos rápidos también consiguen trabajar la fibra rápida, si se realizan con gran esfuerzo

## Algunos músculos y su clasificación en estáticos y dinámicos

### MÚSCULOS DE LA ESTÁTICA

- paravertebrales de la región lumbar y cervical
- cuadrado de los lomos
- escalenos

### MÚSCULOS DE LA DINÁMICA

#### TRONCO

- paravertebrales de la región torácica media que poseen un componente transverso o de oblicuidad

#### CINTURA ESCAPULAR

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>— pectoral mayor</li> <li>— angular del omóplato</li> <li>— parte descendente del trapecio</li> <li>— supraespinoso</li> <li>— deltoides anterior y posterior</li> <li>— cabezas corta y larga del bíceps braquial</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>— romboides</li> <li>— fascículos ascendente y horizontal de trapecio</li> <li>— fascículos abdominales del pectoral mayor</li> <li>— deltoides medio</li> <li>— tríceps braquial</li> </ul> |
|--|---|

#### MIEMBRO INFERIOR

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>— bíceps crural</li> <li>— semitendinoso y semimembranoso</li> <li>— psoas ilíaco</li> <li>— recto anterior</li> <li>— tensor de la fascia lata</li> <li>— aductores</li> <li>— recto interno</li> <li>— piramidal de la pelvis</li> <li>— sóleo</li> <li>— flexores plantares</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>— vastos interno y externo del cuádriceps</li> <li>— glúteo mediano</li> <li>— glúteo menor</li> <li>— glúteo mayor (¿?)</li> <li>— gemelos</li> <li>— tibial anterior y peroneos</li> <li>— flexores dorsales</li> </ul> |
|--|--|

Asimismo, la duración y forma del impulso se ven afectados o determinados por el tipo de aplicación o el grado de afectación patológica, de forma que:

- a) si queremos aplicar faradización de fibras rápidas, tendremos que recurrir a impulsos de 0,5 ms, o incluso menos, con reposo de alrededor de 10 ms. En ocasiones, el reposo puede alcanzar los 5 ms;
- b) si pretendemos aplicar faradización a fibras medias, escogeremos impulsos de 0,5 a 1 ms con reposos de alrededor de 15 ms;

- c) si intentamos faradizar fibras lentas, lo haremos con impulsos de 2 a 5 ms y reposos de alrededor de 20 ms;
- d) si nos encontramos músculos con afectaciones patológicas, serán las *curvas* (I/T) (A/T) o (I/F) las que nos darán los parámetros adecuados para aplicar faradización, ya que de no ser factible, se deberá al retardado en la capacidad de repolarización de membrana.

Debemos considerar algunas importantes precauciones:

- Si la frecuencia es muy alta (tiempos de reposo cortos) y la intensidad elevada, se corre el riesgo de tetanizar al músculo, con el consiguiente peligro de causar dislaceraciones y roturas musculares.
- Si la frecuencia se ajusta a las fibras rápidas (entre 80 y 100 Hz), las lentas se verán saturadas enseguida por invadir su período refractario, circunstancia que obliga a regular las pausas, al menos, de igual tiempo que el de trabajo.
- Si aplicamos *impulsos largos* (2 ó 3 ms), la respuesta de fibra muscular será buena, la intensidad menor y la sensación de calambre más molesta que con cortos.
- Si aplicamos *impulsos cortos* (0,1 a 0,5), la respuesta de la fibra muscular será pobre, por el contrario, la respuesta nerviosa resultará buena, aunque requeriremos más intensidad que con los largos, pero la sensación de calambre se hará más llevadera.
- Los pulsos de forma triangular y monofásicos generan menos respuesta que los cuadrangulares monofásicos, pero los cuadrangulares bifásicos son mejor tolerados y de mayor respuesta que los dos anteriores.

Al estimular los nervios, éstos excitarán las placas motoras del conjunto inervado por él. La sensación de respuesta a la contracción es muy distinta de emplear impulsos cortos o largos (son aplicaciones que implican selectividad de tratamiento).

Si la intensidad regulada en el faradizador es alta (y electrodos amplios), la invasión eléctrica de la zona será mayor, consiguiendo reclutar gran número de fibras musculares simultáneamente. Esto nos lleva a tomar dos precauciones en caso de tratamientos intensos y fuertes:

- **el paciente estará atento al momento de instauración del tren y**
- **aplicar una resistencia a la fuerza muscular.**

La mejor manera de conseguir que el paciente no se vea sorprendido por la invasión farádica consiste en que él mismo se *autocierre el circuito* mediante el mando de *aplicación intencionada* (Fig. XI. 11).

Los equipos «buenos» de electroestimulación vienen provistos de su correspondiente mando para entregar al paciente, con el fin de que éste pulse el botón que activa la corriente elegida hasta el momento deseado y lo suelte al alcanzar la situación de fatiga.

En cuanto a la oposición de resistencia al trabajo muscular, puede realizarse con isométricos o isotónicos, provocando que coincida el esfuerzo voluntario y activo del paciente con el tren de faradización (mediante el mando de faradización intencionada), bien el estí-



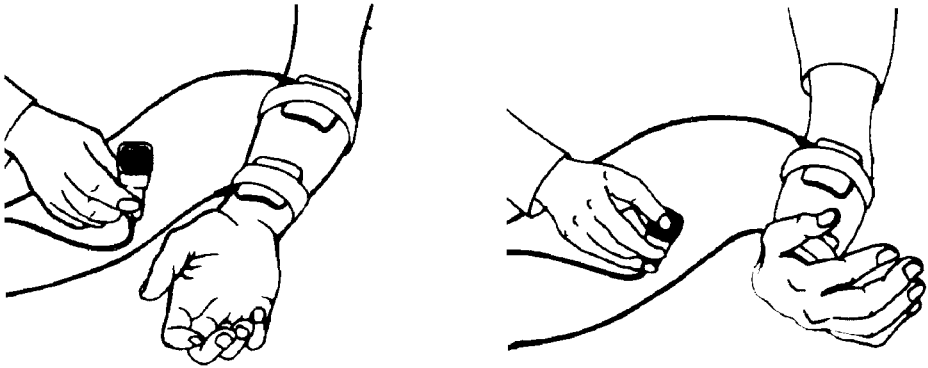


Figura XI.11.

mulo eléctrico antes que la contracción voluntaria o, al contrario, primero la contracción voluntaria y después se refuerza con el tren de faradización.

Los objetivos de ambos casos son distintos:

- si aplicamos faradización y después contraemos, buscaremos una ayuda al trabajo muscular, una concienciación o un refuerzo a la poca capacidad muscular. Por ello, los trenes estarán formados por impulsos y reposos dirigidos a la fibra lenta (frecuencia baja e intensidad moderada);
- si la farádica se implanta después del esfuerzo muscular, pretenderemos reclutar al esfuerzo fibras que no se habían integrado por la contracción voluntaria (normalmente fibras rápidas), lo cual implica que los trenes deben estar compuestos por impulsos y reposos dirigidos a fibra rápida (frecuencia alta e intensidad también alta).

Los trenes con pulsos largos e intensidad considerable se soportan mal al traspasar la piel, *lo que nos obliga a buscar formas de paliar la parte sensitiva desagradable para el paciente*. Podemos conseguirlo con impulsos cortos, o cortos y bifásicos. Es frecuente encontrarnos con estimuladores (EMS) cuyos impulsos siempre son muy cortos (pues utilizan como referencia los tiempos de cronaxia en lugar de los tiempos útiles), son los llamados trenes de alto voltaje.

Asimismo, podemos disminuir la molestia empleando corrientes de media frecuencia como portadora, que, moduladas adecuadamente, generan trenes de pulsos de doble onda con resultados excelentes y con mínima molestia, debido a la poca impedancia que presentan los tejidos a la media frecuencia. Son las llamadas corrientes de Kotz (Fig. XI. 12).

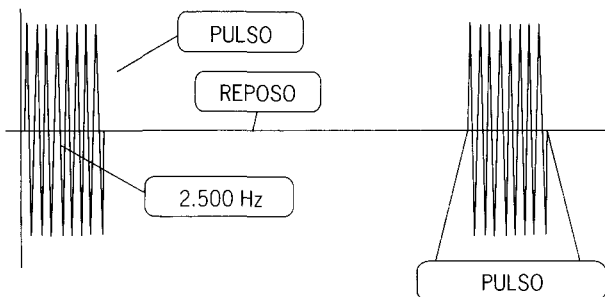


Figura XI.12.

Además, los tejidos poseen la propiedad de presentar menor impedancia a los cambios de tensión que a los cambios de intensidad. Es por ello por lo que si aplicamos impulsos de alto voltaje con mínima intensidad, mantendremos el nivel de potencia eléctrica y conseguiremos buena respuesta con poca molestia. No obstante, los equipos que aplican mucha intensidad con poco voltaje se hacen menos soportables. Esta razón causa la proliferación de estimuladores portátiles con baterías, generando impulsos muy cortos, de doble onda (bifásicos), de alto voltaje y poca intensidad (Fig. XI. 13).

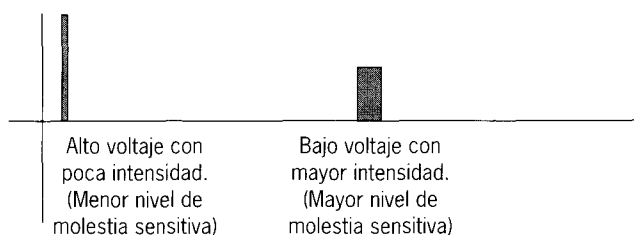


Figura XI.15.

Es obvio que, si el paciente en todo momento se siente poco agredido y controla la situación para coordinar trabajo activo con estímulo eléctrico, los resultados serán satisfactorios y nos permitirán alcanzar los objetivos propuestos (normalmente de potenciación o alargamiento muscular).

Luego dentro del concepto de faradización, no tendremos en cuenta únicamente a las farádicas, sino que se incluirán aquellas corrientes que formen trenes para conseguir trabajo muscular seguido de sus correspondientes pausas, tales como los trenes de alto voltaje y los trenes de media frecuencia (corriente de Kotz).

Los tiempos correspondientes de duración y pausa de los trenes vienen dados por:

- el tipo de afectación patológica;
- los objetivos buscados según pretendamos trabajar fibras lentas o rápidas;
- adaptación al tiempo empleado en un ejercicio activo que se quiera reforzar con faradización;
- cumplir el objetivo de relajación, tonificación, analgesia, potenciación, alargamiento, bombeo circulatorio, etcétera;
- la resistencia a la fatiga, condicionada por estados metabólicos, iónicos (electroquímicos) y de entrenamiento;
- evitar lesiones en el conjunto *neuromúsculo* por exceso de electricidad y tiempo.

## Utilidad de la faradización

Debemos considerar que las farádicas, así como los trenes de alto voltaje y los trenes de media frecuencia, pueden actuar en una amplia gama de efectos: desde la *concienciación de la contracción* de un músculo o grupo muscular que no manifiesta respuesta voluntaria (quizá por un largo período de inmovilización e incapacidad funcional), pasando por analge-

sia, la mejora del trofismo, bombeo de líquidos, elongación muscular, relajación muscular, regulación del tono o «servocontrol», hasta su utilización como herramienta de potenciación muscular del deportista a fin de mejorar sus posibilidades.

Cuando un músculo soportó inactividad durante una larga temporada (no denervado) y es incapaz de desarrollar grandes trabajos, los trenes durarán 2, 3 ó 4 segundos separados por pausas más largas que los trenes. Si el músculo se encuentra en situación próxima a la normalidad, podemos conseguir de él trabajos intensos con trenes de hasta 20 segundos.

Algunos electroestimuladores no permiten que los trenes duren más de 10 segundos. La razón fundamental suele apoyarse en el fenómeno fisiológico siguiente: si un músculo se mantiene intensamente contraído durante más de 10 sg consume sus recursos almacenados, los cuales no han podido ser repuestos durante su estado de contracción, y si pasa de 10 segundos, entraría en trabajo anaeróbico. Esta suposición establecida en 10 sg depende, lógicamente, de multitud de factores, pero 10 segundos se ha extendido como valor estándar.

Pretender evitar el trabajo anaeróbico puede ser importante hasta que el músculo consiga un cierto estado próximo a la normalidad; pero, si deseamos usar la faradización como refuerzo a la potenciación, superaremos los 10 sg; opción que provocará trabajo anaeróbico en la musculatura.

La duración de las sesiones puede oscilar desde unos pocos minutos hasta cerca de media hora, tratando de situar los electrodos sobre los mejores puntos motores, en zonas que no molesten al paciente ni agredan su piel, además de conseguir las mejores respuestas con la mínima intensidad posible, sin olvidar que, por pertenecer las farádicas clásicas del grupo de las interrumpidas galvánicas, manifiestan polaridad y posibilidades de causar indebidas quemaduras químicas.

En caso de aplicaciones monopolares con punto motor muscular, la respuesta será solamente del músculo interesado o, tal vez algunos muy próximos. Pero si la aplicación es en punto motor nervioso, la respuesta se extenderá a todos los músculos inervados por el tronco nervioso desde el electrodo activo hacia distal. En algunas ocasiones también responden los proximales al electrodo activo, situación que es debida al estímulo de la raíz nerviosa con el electrodo *masa* (+) y se resuelve cambiando de lugar el electrodo *masa*.

### ***Regularización del tono muscular***

Tanto para relajar como para mejorar el tono y dar propiocepción posterior a grandes períodos de inmovilización. Intensidad moderada, pero que consiga un buen efecto motor. Para disminuir contracturas, el tiempo del tren y pausa serán iguales: entre 0,5 y 2 sg. Si es posible, seleccionaremos farádicas bifásicas (Fig. XI. 14). Buscamos un efecto de contracciones con cambios bruscos y repetitivos conducente a la regularización de los músculos contracturados (Tabla XI. 1).

### ***Tonificación moderada***

Se trata de conseguir trabajo muscular cuando la musculatura se encuentra atrofica (no denervada), inhibida, desentrenada o incapaz de ser debidamente controlada por el propio

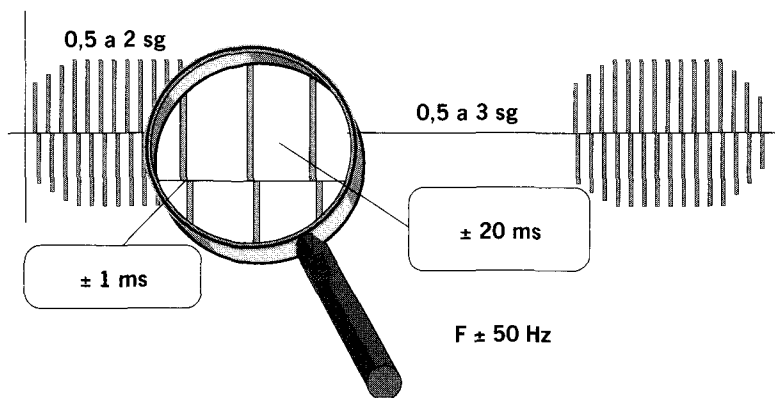


Figura XI.14.

TABLA XI. 1  
REGULARIZACIÓN DEL TONO MUSCULAR

NIVEL DE RESPUESTA	Moderada, pero brusca y repetitiva
CORRIENTE	Alto voltaje, farádica o Kotz
PULSOS	De 1 a 5 ms
REPOSOS	De 20 a 40 ms
FORMA	Triangular o cuadrada
RAMPA	Mínima (subida y bajada busca)
TREN	De 0,5 a 2 sg (1 sg)
PAUSA	De 0,5 a 2 sg (1 sg)
INTENSIDAD	Moderada
PERCEPCIÓN DEL PACIENTE	Relajante y tolerable
ELECTRODOS	En puntos motores de los músculos a relajar
TRABAJO ACTIVO	No

sistema nervioso y sus placas motoras. La estimulación transcutánea ayudará al sistema neuromuscular y desencadenará las respuestas que el paciente no consigue voluntariamente. Debemos evitar la fatiga y saturación muscular; buscar bien la corriente para evitar molestias sensitivas. Son típicas estas aplicaciones en inmobilizaciones prolongadas o en situaciones de impotencia funcional mantenida durante períodos prolongados (Tabla XI. 2).

### Potenciación moderada

Trenes moderadamente intensos, sin sobrepasar los 10 sg para evitar el trabajo anaeróbico. Podemos superponer actividad voluntaria isométrica o contra resistencia. Las pausas iguales o mayores que los trenes. Si es posible, seleccionaremos farádicas bifásicas bien

TABLA XI. 2  
TONIFICACIÓN MODERADA

NIVEL DE RESPUESTA	Moderada, pero clara y bien definida
CORRIENTE	Alto voltaje, farádica o Kotz
PULSOS	De 1 a 5 ms
REPOSOS	De 20 a 40 ms
FORMA	Triangular o cuadrangular
RAMPA	Moderada
TREN	De 2 a 5 sg
PAUSA	De 2 a 7 sg
INTENSIDAD	Moderada
PERCEPCIÓN DEL PACIENTE	Sensación de contracción muscular forzada por la corriente
ELECTRODOS	En puntos motores de los músculos a trabajar
TRABAJO ACTIVO	No

adaptadas al grupo muscular, alto voltaje o Kotz. (Fig. XI. 15). Es importante añadir la posibilidad de aplicación intencionada par acomodarse bien al trabajo activo (Tabla XI. 3).

**Bombeo circulatorio**

Trenes entre 6 y 10 sg relativamente intensos hasta que provoquen una importante presión intramuscular por su nivel de contracción, para así forzar la salida de los líquidos circulantes (tanto sangre como linfa). Pausas al menos del 50% más que el tiempo del tren, a fin de permitir el retorno circulatorio. Evitaremos superar el tiempo de trabajo anaeróbico. Siempre que sea posible, aplicaremos pulsos bifásicos (Fig. XI. 16, Tabla XI. 4).

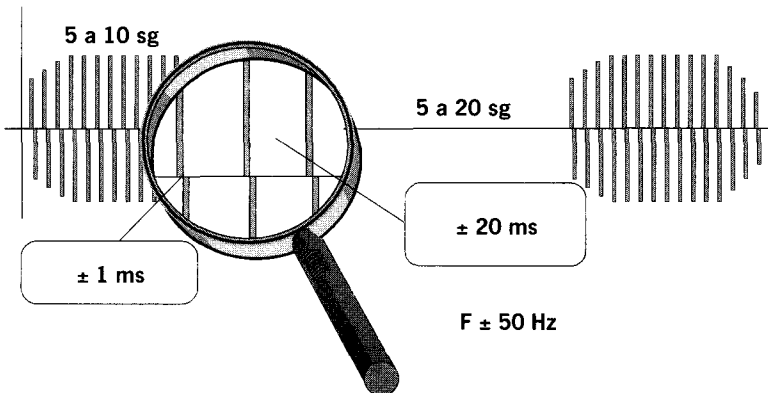


Figura XI.15.

**TABLA XI. 3**  
**POTENCIACIÓN MODERADA**

NIVEL DE RESPUESTA	Fuerte: que se aprecie importante contracción muscular
CORRIENTE	Alto voltaje, farádica o Kotz
PULSOS	De 0,5 a 2 ms con farádica
REPOSOS	De 12 a 25 ms (depende del grupo muscular y de su patología)
FORMA	Cuadrangular o bifásica (usar preferiblemente alto voltaje o Kotz)
RAMPA	Moderada
TREN	De 5 a 10 sg (recomendable aplicación intencionada)
PAUSA	El mismo tiempo o más hasta el doble (recomendable aplicación intencionada)
INTENSIDAD	Alta, pero tolerable
PERCEPCIÓN DEL PACIENTE	Sensación de contracción muscular forzada por la corriente
ELECTRODOS	En puntos motores nerviosos o abarcando grupos musculares
TRABAJO ACTIVO	Siempre sumar el trabajo activo contra moderada resistencia

### *Potenciación y alargamiento muscular*

En ambos casos usaremos la técnica de aplicación intencionada mediante el pulsador manual. Los trenes serán largos e intensos para provocar el trabajo anaeróbico (sin alcanzar el dolor). Los pulsos cortos y bifásicos, para evitar molestias al paciente. Los reposos menores de 20 ms, para trabajar selectivamente la fibra rápida. Las pausas dependerán de la metodología de potenciación (el mismo tiempo del tren, el doble, el triple, el quíntuple o, a gusto del fisioterapeuta). La estimulación eléctrica estará superpuesta al trabajo muscular voluntario contra resistencia (Fig. XI. 17, Tablas XI. 5 y XI. 6).

### **Características mínimas para un equipo de faradización**

Las condiciones mínimas que deberían estar presentes en un aparato de faradización, **si es empleado como tal y no forma parte de otro estimulador**, serían las siguientes (Fig. XI. 18):

- interruptor de encendido y apagado;
- piloto indicador de encendido y apagado;

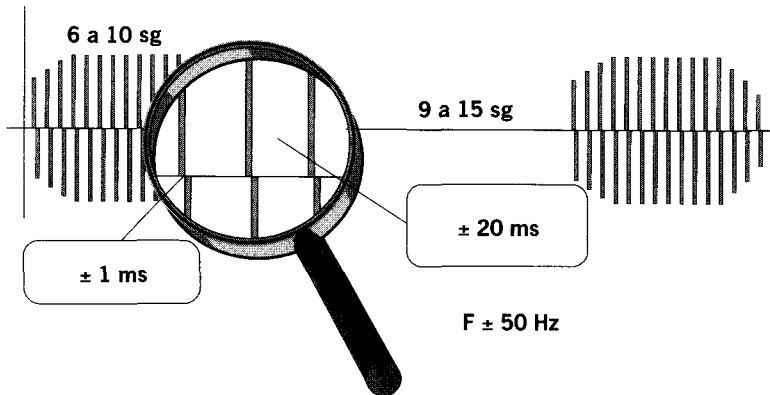


Figura XI.16.

TABLA XI. 4  
BOMBEO CIRCULATORIO

NIVEL DE RESPUESTA	Fuerte: que genere tensión y presión intramuscular
CORRIENTE	Alto voltaje, farádica o Kotz
PULSOS	De 0,5 a 2 ms con farádica
REPOSOS	De 12 a 25 ms
FORMA	Cuadrangular o bifásica
RAMPA	Moderada
TREN	De 5 a 10 sg
PAUSA	La del tren más el 50%
INTENSIDAD	Importante
PERCEPCIÓN DEL PACIENTE	Sensación de contracción muscular forzada por la corriente
ELECTRODOS	En puntos motores de los músculos a trabajar o bipolar en todo el grupo muscular
TRABAJO ACTIVO	No o en algunos casos puede añadirse

- bornes de salida con indicativo de polaridad (de una o varias salidas);
- inversor de polaridad;
- regulador de intensidad;
- medidor de intensidad;
- que trabaje en intensidad constante o voltaje constante (CC, VC);
- mando de aplicación intencionada o manual para controlar a voluntad los trenes y sus pausas;

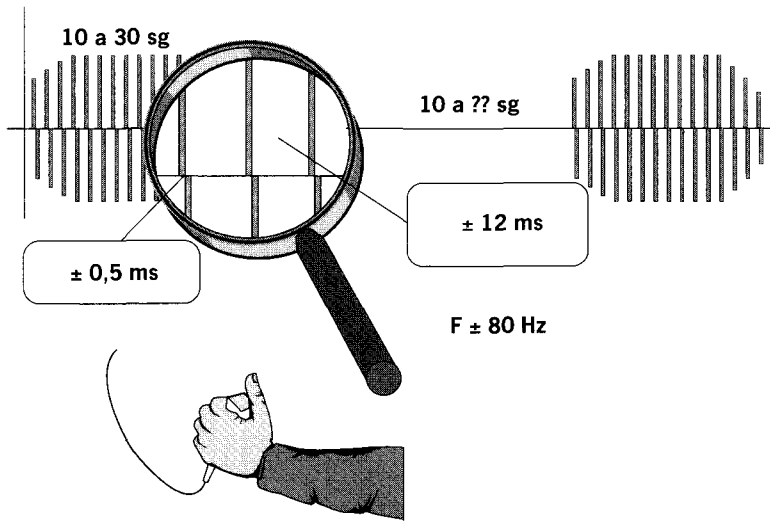


Figura XI.17.

TABLA XI. 5  
POTENCIACIÓN MUSCULAR

Condiciones para la potenciación	
NIVEL DE RESPUESTA	Fuerte: que se aprecie una importante contracción muscular
CORRIENTE	Kotz, alto voltaje o farádicas si es necesario
PULSOS	De 0,3 a 1 ms con farádicas
REPOSOS	De 10 a 15 ms (depende del grupo muscular y de su patología)
FORMA	Bifásica (preferible Kotz o alto voltaje)
RAMPA	Lenta
TREN	Mayor de 10 sg (siempre con aplicación intencionada)
PAUSA	El mismo tiempo o más, según método (siempre con aplicación intencionada)
INTENSIDAD	Alta, pero soportable y con la corriente más tolerable ( <i>¡cuidado con las lesiones musculares!</i> )
PERCEPCIÓN DEL PACIENTE	Fuerte contracción muscular forzada por la corriente
ELECTRODOS	Abarcando grupos musculares
TRABAJO ACTIVO	Siempre debe sumarse el trabajo activo contra fuerte resistencia



TABLA XI. 6  
ALARGAMIENTO MUSCULAR

Condiciones para la elongación	
NIVEL DE RESPUESTA	Fuerte: que se aprecie importante contracción muscular
CORRIENTE	Kotz, alto voltaje o farádicas si es necesario
PULSOS	De 0,3 a 1 ms con farádicas
REPOSOS	De 10 a 15 ms (depende del grupo muscular y de su patología)
FORMA	Bifásica (preferible Kotz o alato voltaje)
RAMPA	Lenta
TREN	Mayor de 10 sg (siempre con aplicación intencionada)
PAUSA	El mismo tiempo o más, según método (siempre con aplicación intencionada)
INTENSIDAD	Alta, pero soportable y con la corriente más tolerable ( <i>¡cuidado con las lesiones musculares!</i> )
PERCEPCIÓN DEL PACIENTE	Fuerte contracción muscular forzada por la corriente
ELECTRODOS	Que abarquen grupos musculares
TRABAJO ACTIVO	Siempre sumar el trabajo activo contra fuerte resistencia <b>ISOMÉTRICO Y EN ELONGACIÓN</b>

- generador de distintas formas de pulsos, junto con su selector correspondiente;
- sendos reguladores de *tiempo de impulso* y *tiempo de reposo* en ms (0,1 a 10 ms y 5 a 50 ms), respectivamente;
- reguladores de *tiempo de los trenes* y *tiempo de las pausas* en sg (0,5 a 30 sg y 0,5 a 60 sg), respectivamente;
- regulador de rapidez de subida del tren (*rampa*);
- conector para el correspondiente pulsador de aplicación intencionada;
- piloto o alarma que indique el deficiente contacto de los electrodos;
- generador de sonido o luminoso que coincida con el tren;
- respeto de las condiciones de seguridad que marca la legislación con el fin de evitar daños y lesiones.

Si es cierta la teoría, según la cual los pulsos ayudan a la bomba de sodio/potasio a su repolarización con impulsos inversos a los activos, tendremos que pensar en añadir la posibi-

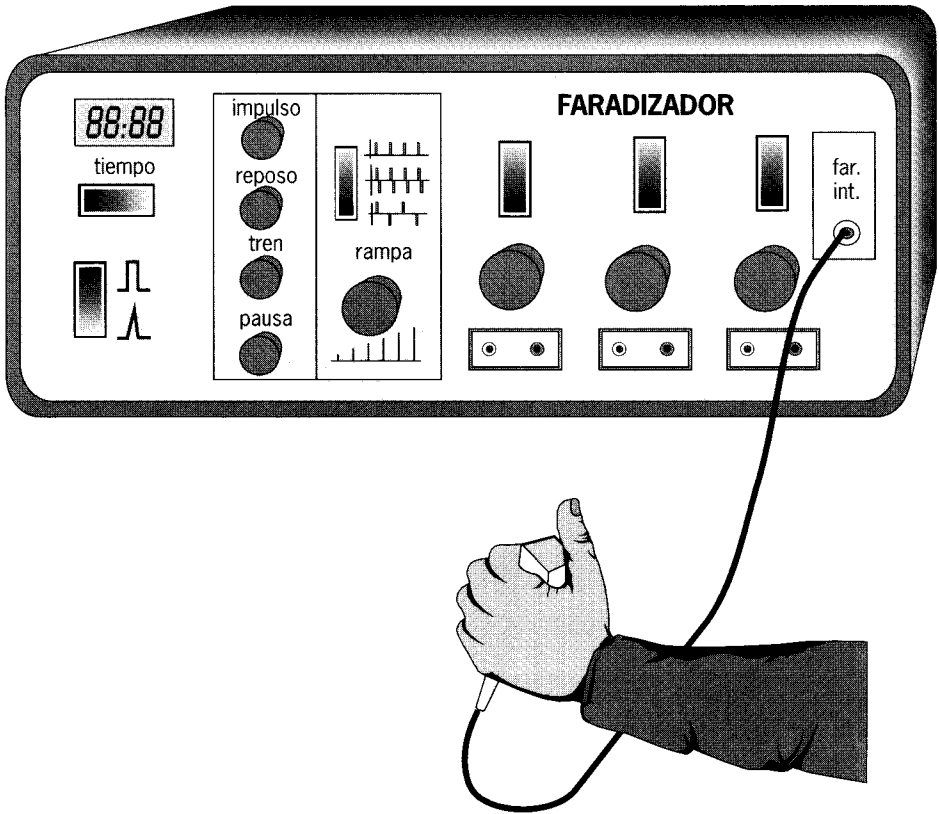


Figura XI.18.

lidad de seleccionar *una fase o dos fases*, pero con pulsos sucesivos (simétricos) o desplazados (asimétricos) (Fig. XI. 19).

Referente al concepto de pulsos descompensados (el positivo y el negativo muestran distinta altura o forma) no es lógico aplicar pulsos con mayor o menor área entre dos que formarían un conjunto de estimulación. En gran número de ocasiones en que se usan pulsos descompensados, se debe a deficiencias del circuito electrónico. Otras veces, son generados a propósito pero no se considerarán en esta obra.

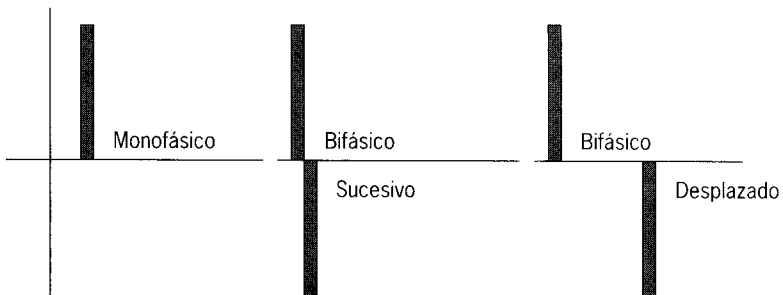


Figura XI.19.

El indicador de intensidad solamente es orientativo, pues *la intensidad aplicada depende fundamentalmente del control palpatorio y visual que detecta el fisioterapeuta sobre el músculo tratado, a la vez que regula la intensidad y frecuencia con la otra mano*. Por supuesto que los máximos de intensidad también estarán limitados por las manifestaciones del paciente en cuanto a las molestias de la corriente o que la contracción resulte dolorosa y peligrosa por excesiva.

Haciendo un resumen, sobre todo para evitar la ensalada mental de números y tiempos, veamos la siguiente figura XI. 20.

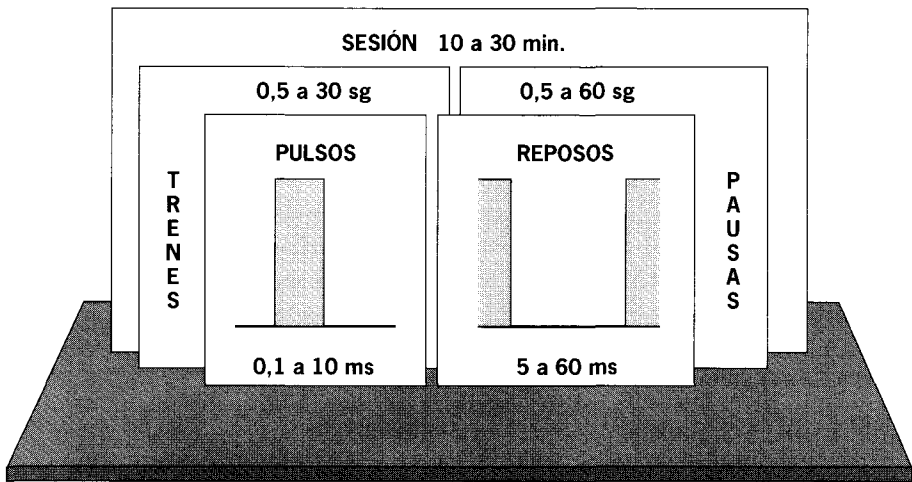


Figura XI.20.

La faradización o «neofaradización» es una técnica que cada vez se emplea con mayor frecuencia usando equipos pequeños o portátiles, los cuales no permiten las posibilidades de liberar la misma potencia en las mismas condiciones que los alimentados por la red eléctrica.

Las modalidades de pequeños estimuladores alimentados mediante baterías recargables suelen dar buenos resultados y, si están fisiológicamente y electrónicamente bien diseñados, generan corrientes poco molestas y eficaces. Hablamos de los estimuladores de alto voltaje.

Para entender lo que a continuación se trata de explicar, es conveniente aclarar lo siguiente: cuando dibujamos un impulso, según lo visto en la pantalla del osciloscopio, se refleja la amplitud o voltaje, pero, sin embargo, el parámetro que referimos y del que habitualmente hablamos es la intensidad.

Realmente existen dos representaciones gráficas, la de corriente y la de voltaje, que si las medimos y se ponen de manifiesto en osciloscopios de doble trazado, deben coincidir en tiempo y forma, pues la sucesión de productos de ambas nos dará una tercera onda, la onda de la potencia correspondiente al impulso aplicado (Fig. XI. 21).

Para que las formas de intensidad y voltaje coincidan, y los sucesivos productos sean los mejores a la vez que mantengan la forma cuadrangular en la potencia, dependerá del diseño electrónico y de la impedancia de los tejidos.

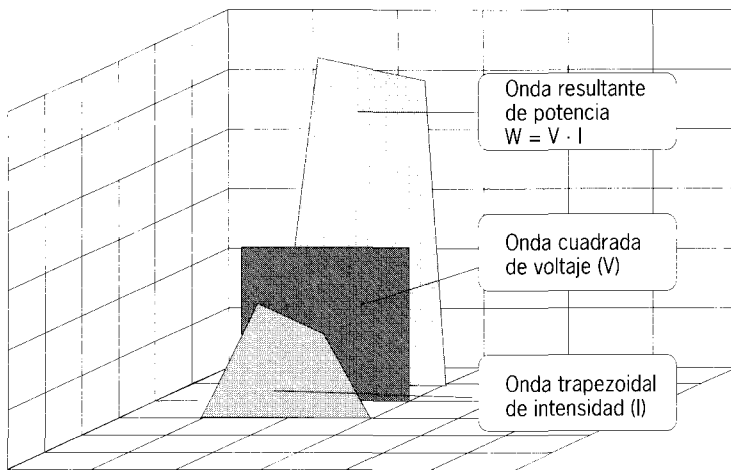


Figura XI.21.

Los antes referidos estimuladores o faradizadores portátiles no pueden ceder mucha intensidad dado su bajo nivel de alimentación, pero sí pueden aportar voltajes considerables en forma de cortos impulsos que buscan compensar la baja intensidad y mantener, con ello, un buen nivel de potencia necesaria para provocar las respuestas motoras deseadas (si no disponemos de suficiente potencia, no habrá trabajo).

Es fundamental que los pulsos sean de subida rápida, pues evitaremos la tendencia a la acomodación de membrana y conseguiremos la respuesta motora con la máxima rapidez y eficacia. Pero, además, los pulsos deben mantener su máximo de energía durante toda su duración, consiguiéndolo con las formas cuadrangulares y no con las triangulares (Fig. XI. 22) que mantienen buen nivel de energía en su base. Sin embargo, en la punta, disminuye.

Se diseñan faradizadores y estimuladores nerviosos transcutáneos (TNS y EMS) con impulsos cortos de doble fase (positiva y negativa) y, otros con impulsos deformados por los transformadores de salida. La clave fundamental se encuentra en la necesidad de aplicar la potencia necesaria, bien con mucha intensidad y poco voltaje —sensación muy molesta—, bien con ambas adecuadamente compensadas por el aparato según la impedancia hallada, o con voltajes altos y poca intensidad: sensaciones poco molestas y bajo poder de irritación en la piel, debido a la poca impedancia capacitativa y mayor impedancia inductiva (ver epígrafe sobre impedancia en el capítulo I).

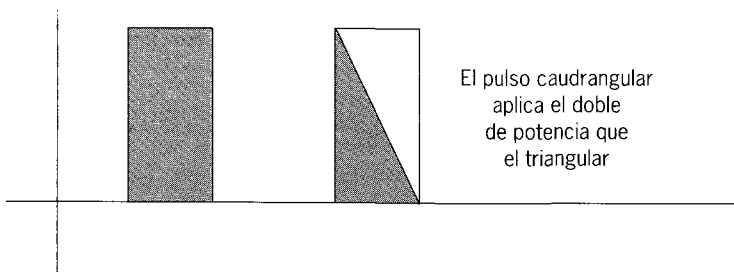


Figura XI.22.

Cuando apliquemos la estimulación con la debida precisión, hablaremos de potencia en lugar de intensidad. Pero tampoco es fundamental saber la potencia ni la intensidad de salida, pues la faradización es una terapia basada en los niveles de respuesta motora, situación que nos hace olvidar si la intensidad es mucha o poca, con tal de ver y palpar los resultados deseados.

Es frecuente que los autores de artículos o folletos explicativos de los estimuladores que estamos ahora refiriendo basen los cortos tiempos de impulsos en los tiempos de cronaxia de músculos normales reflejados en la curva (I/T), tiempos que suelen encontrarse entre 50 y 500 microsegundos, es decir, de 0,05 a 0,5 milisegundos. Estos equipos, también denominados **neuroestimuladores**, deberían ajustar sus tiempos de pulso de acuerdo con el punto útil nervioso. Realmente, la causa de que no ofrezcan pulsos más largos obedece al alto consumo energético que ello implicaría y su consiguiente complicación del circuito para resolver la alimentación del aparato con baterías más caras y de mayor capacidad. Ver al final del capítulo el epígrafe *Diseño y características mínimas de un estimulador de alto voltaje* (TENS y EMS).

## Algunos casos

### DENERVACIÓN PARCIAL

Es fundamental en esta circunstancia la obtención de las curvas (I/T-A/T) (Fig. XI. 25). Si la curva nos muestra el punto de faradización en las proximidades de 1 ms, es el momento de emplear trenes de faradización en lugar de impulsos aislados, con:

- impulsos: de unos 2 ms o más (lo reflejado en la gráfica);
- reposos: de 20 ms o más (habría que buscar el ángulo de deflexión);

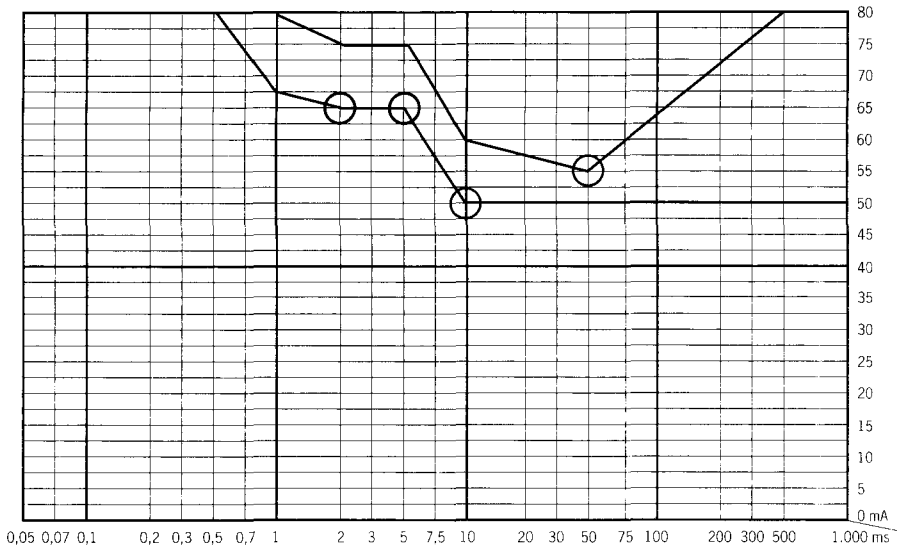


Figura XI.25.

- trenes: de 2 a 4 sg (para evitar fatiga);
- pausas: de 5 o más sg (según respuesta a la fatiga);
- la sesión: de 5 a 10 minutos si iniciamos el paso de impulsos aislados a trenes.

El umbral de faradización se localiza en el cruce de la curva trazada con la vertical de 1 ms (o sus cercanías). Si el cruce se encuentra excesivamente alto, quizá no merezca la pena intentar la faradización por requerir intensidades extremas, con fuerte efecto agresivo sobre la piel y molestia para el paciente.

Según el ejemplo de la gráfica, el mejor punto útil o de aplicación se encuentra en los 10 ms para el impulso y en 50 ms para el reposo. Aunque son tiempos altos para diseñar un tren de farádicas, serán los suyos: 10 ms + 50 ms = 60 ms de período, y, en consecuencia, la frecuencia será de  $1.000/60 = 16$  Hz, frecuencia considerada baja.

Si nos fijamos, la curva cuadrangular muestra una zona de reactivación con su escalón en los 5 y 2 ms, tiempos muy adecuados para formar trenes de faradización con intensidades no demasiado altas y seguramente perfectamente soportables por el paciente. Para elegir el mejor tiempo de reposo, deslizamos repetidas veces el mando del tiempo (en el transcurso de salida del tren al paciente) hasta encontrar el que apreciemos con mejor respuesta.

En caso de personas colaboradoras, tal vez, lo más indicado estaría en que la duración de los trenes y de las pausas la regulen los mismos interesados con el mando de *faradización intencionada*.

### DEGENERACIÓN FIBROSANTE

En este caso es necesario, asimismo, trazar ambas curvas (I/T-A/T) de respuesta muscular (Fig. XI. 24), que seguro nos mostrará el punto de faradización por caracterizarse con

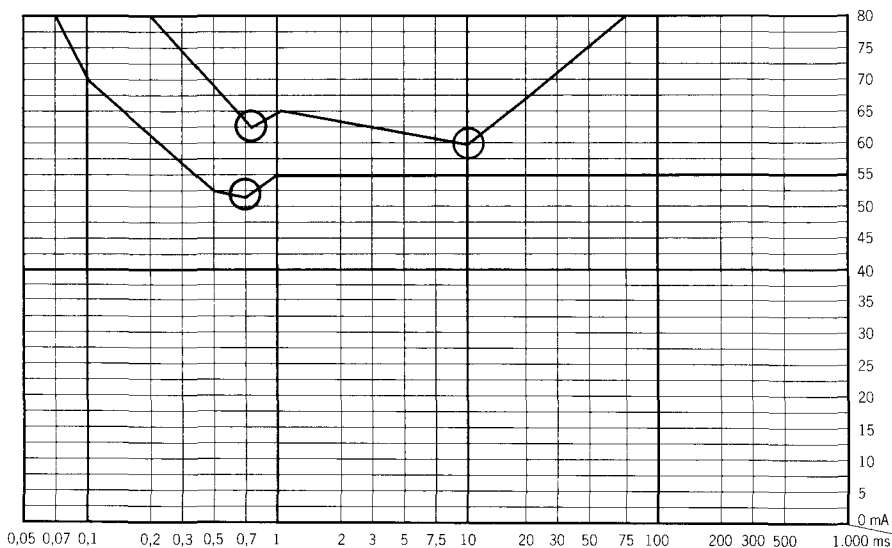


Figura XI.24.

curvas muy altas en la gráfica, marcando escalones o quebradas. Las curvas son largas a semejanza de la normal, pero muy altas.

En la gráfica se observa el fenómeno interesante del buen estado de las fibras nerviosas debido a su reactivación en tiempos menores de 1 ms. Luego un tiempo de impulsos de 0,5 ó 0,7 ms con reposos de 10 ms será muy adecuado para diseñar el tren de tratamiento.

Estas informaciones nos señalan la clara indicación de faradización, pero con altas intensidades, por lo cual debemos estudiar, detalladamente, las curvas a fin de componer la corriente con impulsos y reposos coincidentes en tiempos donde se requiera menor intensidad, bifásicos y, a la vez, los más funcionales:

- impulsos: (el tiempo más adecuado en la gráfica);
- reposo: (el más adecuado reflejado en la gráfica);
- trenes: 5 a 10 sg;
- pausas: 10 a 20 sg (dependiendo de la fatiga muscular);
- sesión: 15 a 20 minutos, dependiendo del estado del paciente.

Más adecuado sería regular los trenes y las pausas con el control voluntario por parte del paciente controlando el pulsador de faradización intencionada.

## MIOPATÍAS

El tratamiento fundamental, o al menos uno de los principales, para las miopatías es la *electroestimulación* con farádicas. Pero aquí sí que es *electroestimulación de precisión*; en este caso, se debe explorar necesariamente con curvas (I/T)-(A/T), sin olvidar otro factor que puede resultar clave, dependiendo de patologías que impliquen más a la fibra muscular, a la placa motora o a la neurona de inervación, en la siguiente forma.

Los tiempos de impulso cortos (menores de 1 ms) estimulan mejor a la neurona que a la fibra muscular, mientras que los impulsos superiores a 1 ms excitan más a la fibra muscular que a la neurona. De todas formas, esto suele apreciarse en la línea cuadrangular de la curva (I/T) dibujando un escalón. Por ello, adaptaremos los tiempos a dicho escalón.

En el caso de las miopatías, debemos tener presente el método de aplicación, ya que con:

- *bipolar e impulsos largos* predomina la influencia en la fibra muscular. Los reposos pueden ser cortos o largos (buscaremos los mejores);
- *monopolar en punto motor muscular*, la duración del impulso (mejor corto) influirá más selectivamente en la neurona que en la fibra muscular. Forma ideal para estimular las reacciones electroquímicas de la placa motora, con una condición fundamental: que los tiempos de reposo tenderán a ser largos para que la *colinesterasa* pueda destruir a la *acetilcolina* que produjo la contracción en la sinapsis de la placa motora;
- *monopolar en punto nervioso*, el estímulo directo del nervio excitará la musculatura que inerva.

## POTENCIACIÓN MUSCULAR

Ver también «Elongaciones musculares», pues lo dicho en ambos epígrafes es común, salvo que la potenciación suele realizarse con el músculo tendente al acortamiento, en tanto que en las elongaciones el músculo parte de máxima elongación (Fig. XI. 25).

Ante musculaturas en períodos de potenciación, la faradización puede resultar una importante técnica de ayuda, aplicándola simultáneamente al esfuerzo voluntario, sea contra resistencia submáxima o máxima (Fig. XI. 26). Primero el paciente contraerá activa y voluntariamente el grupo muscular contra una resistencia e, inmediatamente se aplica la descarga de impulsos eléctricos para reclutar fibras que permanecían inactivas a pesar del esfuerzo activo. *Es primordial el método de aplicación intencionada, pulsando el interruptor inmediatamente después de iniciar el esfuerzo activo y voluntario y retirando el estímulo eléctrico antes de finalizar el esfuerzo activo.*

Los tiempos a elegir para estas aplicaciones dependen fundamentalmente del tipo de fibra muscular que componga el grupo muscular o músculo a potenciar.

Los músculos encargados de la estática corporal están sometidos a una contracción mantenida, por lo que, en ellos, se va a apreciar mayor número de fibras lentas (las llamadas fibras rojas). Por otra parte, tendremos los músculos de la dinámica donde la proporción de fibras lentas disminuye para aumentar el número de medias y rápidas.

Consideraremos que, cuando un músculo se mantiene fuertemente contraído durante 10 sg, agota sus reservas y, a partir de ese tiempo, se halla sometido a isquemia por la compresión o «estrujamiento» de los vasos que circulan por su interior, obligando a las fibras a trabajar en anoxia, entrando en metabolismo anaeróbico.

Entonces, si deseamos evitar esta circunstancia (sobre todo por fuertes contracciones) no es conveniente sobrepasar los 10 sg cuando tratemos músculos sometidos a patología que influya en el riego y posibles deficiencias de nutrición celular.

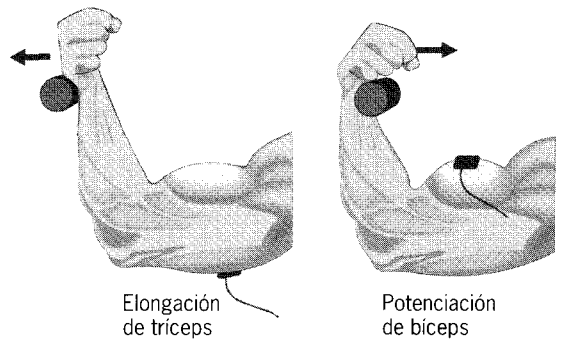


Figura XI.25.



Figura XI.26.



Al hablar de potenciación muscular, diferenciaremos entre aumento de resistencia a la fatiga o aumento de fuerza. Habitualmente nos salimos del terreno del paciente que se encuentra muy por debajo de sus capacidades normales, para adentrarnos en terrenos que rozan la normalidad o corrección de actitudes deportivas. Si nos movemos en estos parámetros, será habitual que el objetivo fundamental sea el de potenciación y la potenciación procede básicamente de la fibra rápida. Luego para potenciar por encima del estado de normalidad, diseñaremos farádicas destinadas a la fibra rápida.

La fibra rápida requiere de un buen reposo reparador después del trabajo intenso, pero la fibra lenta puede mantenerse contraída durante un tiempo considerable, siempre que su nivel de contracción no sea alto. Esta circunstancia nos conduce a que, en modernos equipos de faradización, podamos aplicar trenes de frecuencias próximas a los 80 Hz e intensidad considerable, para en las pausas —en lugar de instaurar un descanso total—, mantener una corriente próxima a los 45 Hz e intensidad relativa que mantenga contraídas las fibras lentas. Previamente, necesitamos discernir y aclarar la polémica acerca de si es mejor la pausa en descanso total o la pausa con una corriente que mantenga contraído al músculo en bajo nivel o, también, someterlo a vibración muscular para facilitar su relajación seguida del esfuerzo intenso (el denominado reposo activo).

Estos factores van a condicionar los tiempos, tanto de impulso y reposo como de los trenes y sus pausas:

### **Fibra lenta**

- impulsos: 2 ms;
- reposos: 20 ms (necesitan ser explorados);
- trenes: de 5 a 15 sg;
- pausas: de 10 a 20 sg;
- intensidad: no demasiado alta por su fuerte sensación de calambre. Para reducir el nivel de molestia podemos disminuir el tiempo de pulso por debajo de 1 ms y hacerlos bifásicos.

### **Fibra rápida**

- impulso: 0,5 ms;
- reposos: de 8 a 12 ms (necesitan ser explorados);
- trenes: de 10 a 30 sg. Si se acompaña de ejercicio activo, el tiempo deberá adaptarse al del ejercicio contra resistencia;
- pausas: de 10 a ?? sg. Si se acompaña de ejercicio activo, igual que los períodos de descanso o relajación;
- intensidad: muy alta, al límite que aguante el paciente para buscar la contracción del mayor número de fibras posible y por ser más soportable la corriente con impulsos cortos. Para luchar contra la molestia sensitiva, haremos los pulsos más cortos, bifásicos o media frecuencia en trenes (corrientes de Kotz).

Otros factores que también condicionan el tipo de aplicación vienen dados en los deportistas que especializan su musculatura en diferentes tipos de esfuerzo; observaremos muy distinta la musculatura de:

- un alterofílico a la de un ciclista;
- o la de un lanzador de martillo comparada con la de un jinete de carreras ecuestres;
- o corredor de 100 metros con el corredor de maratón;
- sin olvidar el componente constitucional de cada individuo.

En músculos que soporten perfectamente determinadas situaciones de estrés, podemos alterar en ciertos márgenes los parámetros de partida, buscando otros efectos programados y conseguidos por el trabajo muscular dirigido.

Asimismo, podemos influir en órganos y sistemas diferentes al músculo mediante las tensiones aplicadas a distancia sobre cápsulas, articulaciones y fascias o, también, influencias en la circulación de líquidos orgánicos por ser el músculo una potente bomba circulatoria sanguínea y linfática.

En conclusión, podemos resumir diciendo que:

- en músculos preparados para un esfuerzo corto e intenso, predominan las fibras rápidas. Son músculos que presentan oblicuidad o transversos al eje axial;
- en músculos preparados para esfuerzos prolongados y resistentes a la fatiga, abundan las fibras lentas. Se localizan longitudinalmente y su función primordial es luchar contra la gravedad.

#### ELONGACIONES MUSCULARES (ver también «Potenciación muscular»)

Cuando los músculos se hallan acortados, se debe a dos razones fundamentales:

1. por contractura o acortamiento de las estructuras activas del músculo y
2. por acortamiento de sus elementos estructurales no contráctiles: fascias, aponeurosis y tramas de tejido conectivo, normalmente causados por aumento y proliferación del colágeno posterior a contracturas, inflamaciones, derrames, inmovilizaciones, etcétera.

En el primer caso, si deseamos conseguir elongación, al relajar la contractura, automáticamente obtendremos resultados. *No olvidemos que ante contracturas agudas o como mecanismo de defensa postural, si nos empeñamos en reducir el tono de defensa, es posible que causemos más problemas de los existentes desprotegiendo la lesión. Por otra parte, aunque consigamos nuestro objetivo, en el momento que el paciente inicie alguna actividad, volverá a contracturarse.* La indicación será para contracturas cronificadas o aquellas que detectemos como la causa del problema.

Podríamos alcanzar nuestro propósito con trenes de corta duración (0,5 a 2 sg), de implantación o subida prácticamente brusca, las pausas también cortas (0,5 a 2 sg) y los pulsos

y reposos dentro de los trenes, adaptados a la exploración previa basada en las curvas (I/T) (A/T). Asimismo, con impulsos vibratorios o pequeños trenes en cadencias menores de 1 sg (de 1 a 5 por segundo) son también muy interesantes, al conseguir del músculo estados vibratorios muy relajantes.

Intensidad moderada, con lo cual, buscamos efectos de regularización en el circuito alfa-gamma (o servocontrol) del tono muscular.

El músculo, al comienzo de la sesión, debe hallarse en su recorrido de acortamiento, para ir pasando a posiciones de alargamiento, según comprobemos, palpando con nuestras manos, la evolución y nivel del tono. Normalmente, captaremos mediante palpación como se regulariza y disminuye la contractura.

En el segundo caso (acortamiento de estructuras no contráctiles) seguramente apreciaremos simultáneamente contractura. En esta circunstancia, en que coinciden hipertono con fibrosis, iniciaremos la sesión con la metodología orientada a relajar expuesta en los párrafos anteriores, para seguir con la que enseguida se explicará, basada en los siguientes fenómenos fisiopatológicos:

- que el músculo se mantenga durante bastantes días contracturado;
- sufre procesos inflamatorios que afectan a su aponeurosis;
- o inmovilizaciones que cursan con derrames intra o extra musculares.

Sobre sus aponeurosis y fascias proliferará el colágeno en todas las direcciones, creando atrapamientos y adherencias en las distintas partes del músculo entre sí y con otras zonas u órganos próximos, dando como resultado atrapamientos y aprisionamientos por la red de tejido conjuntivo que proliferó.

No olvidemos que las fibras musculares no se originan en la zona de inicio del tendón, más bien, la mayoría nacen y se insertan entre pequeños tramos o bandas de aponeurosis, las cuales, en su conjunto, transmitirán la fuerza al tendón (Fig. XI. 27).

Cuando el músculo normal se relaja (Fig. XI. 27), la aponeurosis permite todo el recorrido de alargamiento; pero, si ha sufrido los procesos antes referidos (incluso simples, pero prolongados acortamientos posturales) (Fig. XI. 28), se crearán bandas de colágeno en sentido transverso y longitudinal que atraparán y mantendrán al músculo preso dentro de sus límites, perdiendo, cuando menos, elasticidad.

Se han descrito técnicas electroterápicas destinadas a reforzar la capacidad de elongación a la vez que se aplican maniobras resistidas o simplemente activas por parte del paciente.

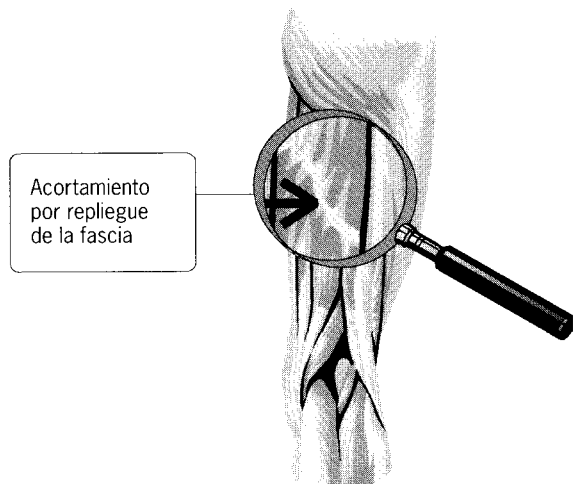


Figura XI.27.

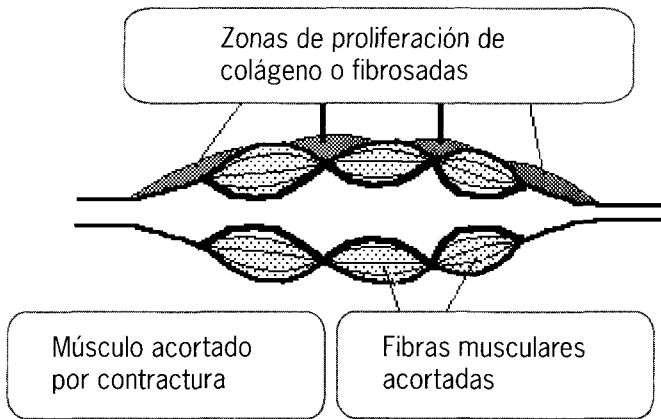


Figura XI.28.

Los efectos buscados se basan en acentuar al máximo posible la contracción de músculos a elongar mediante diversas técnicas de elongación:

- bien por contracciones isométricas en máxima elongación;
- mediante contracciones dinámicas excéntricas contra una resistencia aplicada;
- o contra la contracción de los antagonistas.

El método o maniobra a elegir dependerá de cada caso, indicación o posibilidades reales de aplicación.

Pero aquí y ahora, nos interesa el refuerzo con trenes de faradización que obligarán a participar en el esfuerzo muscular al máximo de fibras posibles, con el fin de traccionar (desde el interior muscular) en el mayor número de puntos de la aponurosis cuando ésta se halla en máxima tracción y elongación por sus extremos.

*La duración de los trenes elegidos debe estar en consonancia con la maniobra aplicada o, en su defecto, adecuar la maniobra a la cadencia de los trenes. Lógicamente, la aplicación mediante el pulsador de faradización intencionada será la mejor.*

En caso de automatizar los trenes y las pausas, estos deben ser largos (10 a 15 sg) y las pausas entre 15 y 20 sg.

Los impulsos del tren deben hallarse en las proximidades de 0,5 ms y los reposos alrededor de 10 a 12 ms por dos razones:

- impulso de 0,5 ms y 10 a 12 ms de reposo nos da un período de 10,5 a 12,5 ms con su correspondiente frecuencia entre los 80 y 100 Hz, poseyendo buena capacidad de contracción, y
- impulso de 0,5 ms suele cubrir perfectamente la respuesta nerviosa y la respuesta muscular. Además, los 10 a 12 ms de reposo van muy bien para la fibra rápida, fibras a las cuales buscamos su respuesta selectiva, pues el reposo habitual de éstas, seguramente, fue una de las causas que permitió la inmovilidad e inflexibilidad de la aponurosis.

Si el músculo se encuentra afectado en su capacidad de respuesta, necesitaremos buscar el mejor tiempo de impulso y el mejor reposo.

La intensidad será alta, destinada a conseguir el reclutamiento del máximo número posible de fibras y buscando también fuertes contracciones sin llegar a daños musculares (riesgo a tener presente).

- Si los electrodos se aplican en modo bipolar y en sentido longitudinal (de acuerdo a lo normalizado), éstos serán amplios para conseguir que ninguna parte del músculo, mejor grupo muscular, quede fuera del efecto excitomotriz provocado, pues, de lo contrario, algún fascículo muscular puede sufrir dislaceraciones y roturas longitudinales (Fig. XI. 29).
- Otra forma se basa en colocar los electrodos en sentido transverso al grupo muscular (Fig. XI. 30), pero perdiendo capacidad de respuesta contráctil, dado que con-

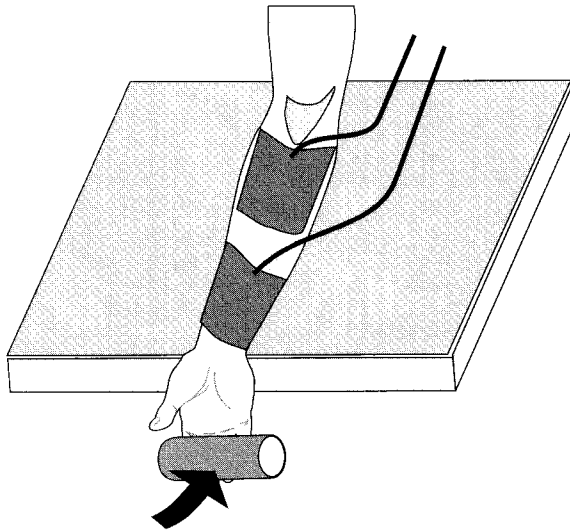


Figura XI.29.

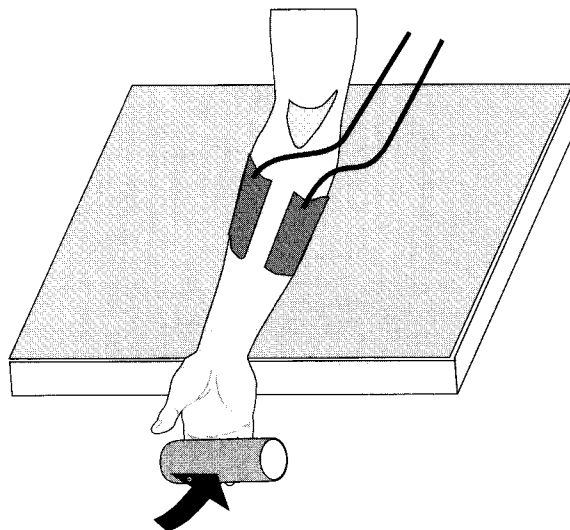


Figura XI.30.

traen las bandas musculares invadidas por el campo eléctrico, pero las proximales y distales permanecen inactivas. Esta colocación genera contracción simultánea de los antagonistas al grupo tratado.

- También podríamos practicar colocaciones de electrodos multipolares con aparatos de varios canales o derivaciones de un sólo canal (Fig. XI. 31), resultando difícil coordinar y compensar las intensidades adecuadas a cada músculo o a cada circuito.
- En caso de aplicación monopolar (Fig. XI. 32) se hará sobre punto motor nervioso, lo que provocará que responda por igual todo el paquete muscular inervado. El

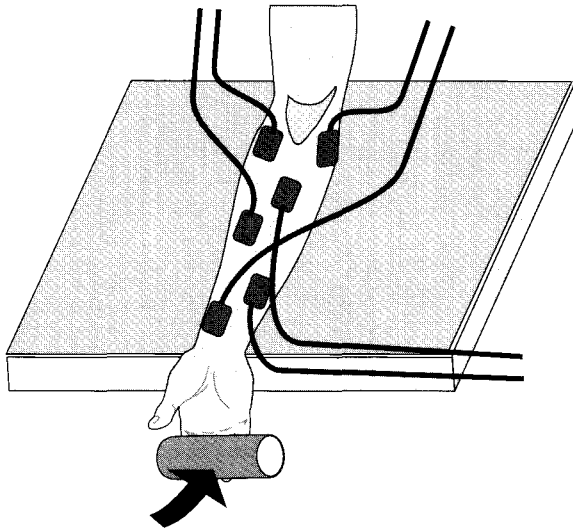


Figura XI.51.

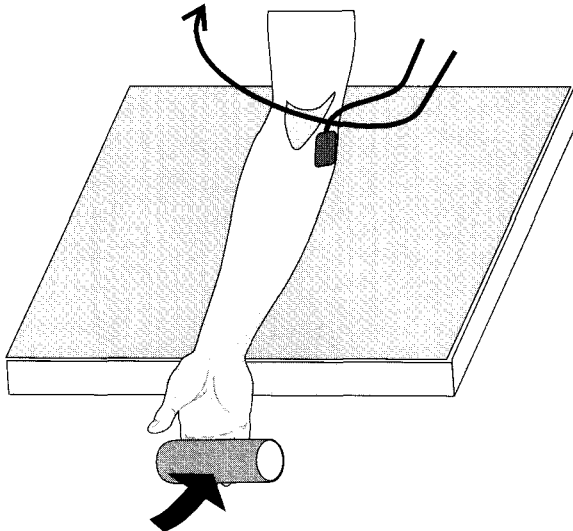


Figura XI.52.

electrodo masa se fijará proximal al punto motor, pues si lo hiciéramos en sentido distal, se favorecerían las respuestas de unos fascículos o músculos más que otros, situación que precisamente estamos evitando.

Dado que las corrientes farádicas son bastante molestas, sensitivamente hablando, se han buscado alternativas con trenes formados por corrientes bifásicas (Fig. XI. 33) con impulsos de poca duración y mucha amplitud, o mediante corrientes de Kotz (Fig. XI. 34), compuestas por pulsos con media frecuencia de 2.000 a 4.000 Hz (originariamente 2.500) modulados cuadrangularmente. Los pulsos modulados dan lugar a la baja frecuencia utilizable para la excitomotricidad, cuya frecuencia oscila entre 40 y 100 Hz.

De esta forma, conseguimos disminuir las molestias al paciente mientras obtenemos intensas respuestas motoras, pero siempre que dediquemos la suficiente atención a los electro-

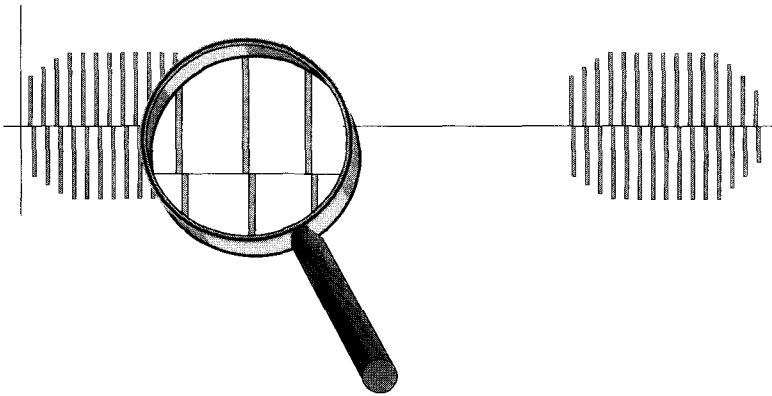


Figura XI.55.

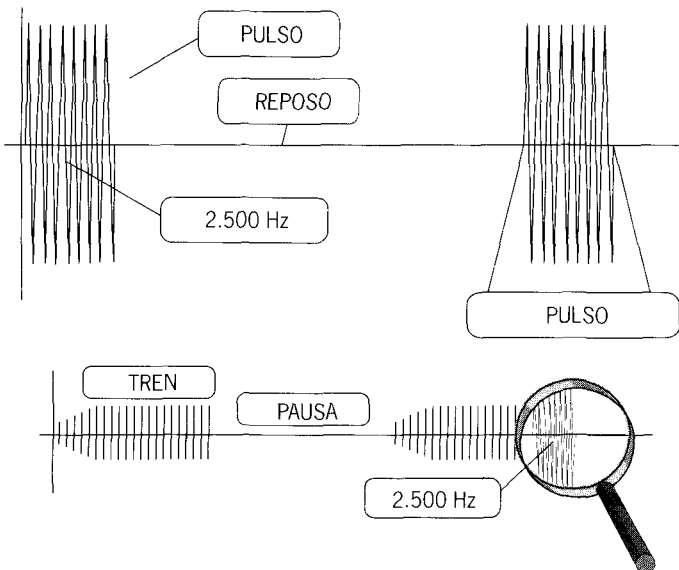


Figura XI.54.

dos para evitar daños fibrilares y únicamente alcanzar los objetivos de elasticidad o disgregación del colágeno proliferante en exceso.

Es por esto por lo que dichas corrientes se diseñaron para entrenamiento deportivo más que para tratamiento de pacientes. Así, podemos ver en las figuras XI. 35 y 36 una poten-

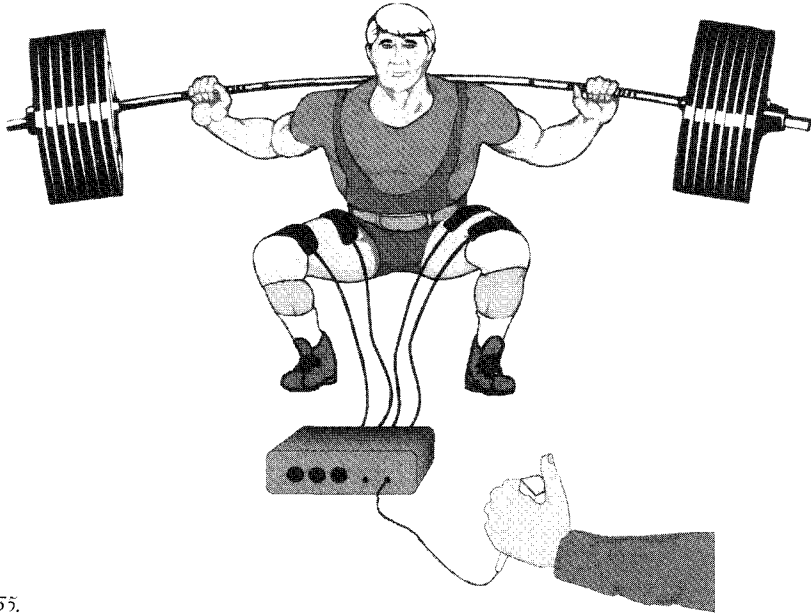


Figura XI.55.

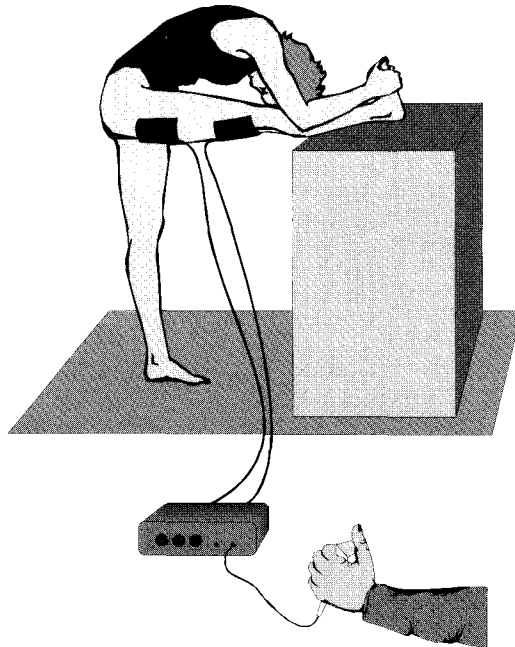


Figura XI.56.



ciación intensiva de ambos cuádriceps controlada por aplicación intencionada y, también, alargamiento de isquiotibiales mediante aplicación intencionada para evitar en cualquiera de las dos circunstancias, que pudieran aparecer lesiones o imprevistos que nos obligaran a detener la ráfaga o tren inmediatamente, de forma que, dejando de pulsar, termina la estimulación sin vernos obligados a esperar un tiempo programado en el equipo.

## **Electroestimulación funcional en lesionados medulares y otras afecciones neurológicas (FES)**

Es una técnica destinada a producir contracciones mediante trenes de faradización en grupos musculares que conducirán a movimientos y actividades de la vida diaria en el momento y forma que lo desee el paciente, tales como: ponerse en pie, andar, coordinar movimientos dificultados por la espasticidad, aprehender un objeto, cambiar de postura, etcétera.

Por ello, a esta técnica se la conoce como Estimulación Eléctrica Funcional (FES, sigla en inglés).

Técnica bastante depurada y, actualmente, en plena evolución e investigación, pero que requiere de condicionantes y circunstancias que la hagan practicable, como pueden ser:

- la musculatura conservará el circuito de inervación motora entre la médula y el músculo, aunque falte el control central;
- si existe denervación motora entre la médula y la zona, es impracticable por comportarse la musculatura como denervada;
- el paciente no debe conservar la sensibilidad en la zona de fijación de electrodos, pues la estimulación es muy intensa y sensitivamente poco soportable;
- la musculatura y nervio a estimular conservarán actividad motora y nerviosa. Si las pérdidas fueran intensas, la estimulación farádica ya no conseguiría la adecuada respuesta de tonificación o potenciación;
- las zonas anatómicas cercanas (músculos, articulaciones, ausencia de fracturas, esguinces, circulación sanguínea, etc.) deben conservar su integridad morfológica y funcional;
- que el paciente no sufra de alteraciones cardíacas ni otras enfermedades metabólicas, pues las contracciones serán tan amplias e intensas que requerirán de buena salud y capacidad metabólica para resolver las descargas masivas de lactatos y otros derivados del intenso trabajo muscular;
- previo a la estimulación con respuesta funcional (para alcanzar los objetivos o actos buscados) se requiere del adecuado entrenamiento previo durante meses para conseguir potenciación muscular, coordinación, equilibrio, manejo del equipo por parte del paciente y una buena preparación psicológica del mismo;
- controles médicos periódicos para evitar influencias no deseadas en la piel o en la salud global del paciente;

- cierto nivel intelectual del paciente, pues necesitará conocer sus limitaciones y superar fracasos, así como cuidarse y manejar un equipo electrónico relativamente complejo.

Una vez cubiertos los requerimientos y la adecuada mentalización del paciente, es necesario el imprescindible entrenamiento en métodos, función buscada, selección de corriente, colocación de electrodos, potenciación previa de los músculos implicados y manejo del estimulador, dado que se convertirá en aplicación cotidiana y diaria.

Es importante la preparación psicológica del paciente en cuanto a evitar falsas esperanzas en los resultados, *constancia* en el tratamiento (pues, si transcurren unos días sin la aplicación, se producirá: un retroceso fatal) y, finalmente, los debidos controles de auto observación y cuidados para evitar abusos en el uso y problemas provocados por la técnica.

El electroestimulador usado debe ser seguro en su funcionamiento, complejo, portátil, alimentado con baterías recargables, de cuatro a seis canales de salida, posibilidades amplias de programación o control manual.

Imaginemos un paraplégico al que se lo aplicamos para realizar la marcha (después de la adecuada preparación muscular y entrenamiento en manejo y equilibrio); dependiendo de cada caso, seguramente necesitaremos:

- Localizar las mejores zonas de respuesta para los electrodos en extensores de tronco, glúteos, cuádriceps, isquiotibiales, extensores de tobillo y flexores plantares.
- Buscar las mejores frecuencias y tiempos de impulso para cada grupo muscular.
- Diseñar y programar las intensidades de cada canal, cadencias biomecánicas, coordinación en tiempos y alternancias de los distintos grupos musculares, para que la sucesión de estímulos genere el trabajo coordinado que conduzca a la secuencia de movimientos necesarios para la marcha.
- Colocar al paciente en un andador, al que se le construyen (solidarios o cerca de las zonas de aprehensión mediante unos cables) pulsadores que inicien o detengan la maniobra, velocidad de la marcha, alternancia en cambio de pierna, tiempo de espera en la puesta en pie antes de andar, etcétera.

El proceso es lento, con mucho esfuerzo; da impresión de marcha robotizada y permite un pequeño paseo (más amplio cuanto mejor es el entrenamiento). Pero, aunque aparentemente pudiera parecer poco útil, sus efectos más inmediatos e importantes se centran en el trofismo de los tejidos, en la circulación sanguínea y linfática, en la coordinación del resto del cuerpo, en las influencias sobre los sistemas digestivos y renales, osteoporosis, etcétera.

Las corrientes usadas por el sofisticado y pequeño estimulador suelen ser *bifásicas*, evitando el componente galvánico y agresión a la piel, con diferencias de potencial importantes, de impulsos relativamente cortos (menos de 1 ms) y frecuencias regulables (entre 20 y 100 Hz) para adaptarse al momento biológico de cada músculo en su tiempo de repolarización, el cual podemos hallar por experimentación regulando la frecuencia o buscándolo mediante la exploración neuromuscular con curvas (I/T) (A/T).

Por el momento, las esperanzas de que los lesionados medulares consigan grandes cambios en su vida y actividades cotidianas son limitadas, mientras la estimulación se aplique

por vía transcutánea. Se están creando bastantes esperanzas con las investigaciones dirigidas a la implantación quirúrgica de microelectrodos en placas motoras, plexos o raíces nerviosas, que generarían el trabajo muscular con mayor precisión y menores intensidades eléctricas.

Naturalmente, el fisioterapeuta que necesite aplicar esta técnica tendrá que conocer muy bien la electroterapia y sus bases eléctricas, fisiología muscular y nerviosa, dominio en cuanto a colocación en los mejores puntos de los electrodos y, sobre todo, biomecánica o coordinación del movimiento. Se abren nuevos caminos y retos que nos pueden encontrar descuidados.

### **Diseño y características mínimas de un estimulador de alto voltaje (TENS y EMS)**

Los estimuladores de alto voltaje de porte medio —es decir: ni un pequeño TENS o EMS ni tampoco un estimulador clásico para conexión a la red eléctrica— requieren de un mínimo de características, dada su polivalencia como TENS y EMS simultáneamente, tales como:

- su portabilidad al estar alimentado por baterías recargables;
- disponibilidad de varias salidas simultáneas y
- sus posibilidades de programación para diseñar corrientes personalizadas a los deseos de cada profesional.

Recordemos que estos equipos son muy prácticos y útiles en estados de no denervación o que la atrofia neuromuscular no sea importante. Su uso está muy extendido en el deporte y entre el público en general, dada la gran cantidad de programas que ofrecen diseñados de fábrica, aunque los más profesionales disponen de posibilidades para programación personalizada.

Al analizar los programas ya diseñados, en muchas ocasiones no cumplen con los objetivos para los que se dice está destinado; tal vez, el exagerado celo en las medidas de seguridad o los posibles riesgos por el uso indebido del público general conducen a programaciones excesivamente prudentes y carentes de efectos.

Veamos las características posibles y mínimas que un equipo de este tipo puede ofrecer (ver Fig. XI. 37):

- impedancia en la salida para 500 Ohm de carga;
- que alcance un máximo de 150 mA (pico);
- que alcance unos 200 V en vacío y en VC;
- entre dos y cuatro salidas;
- intensidad ajustable e independiente para cada salida;
- conector para pulsador de aplicación intencionada;

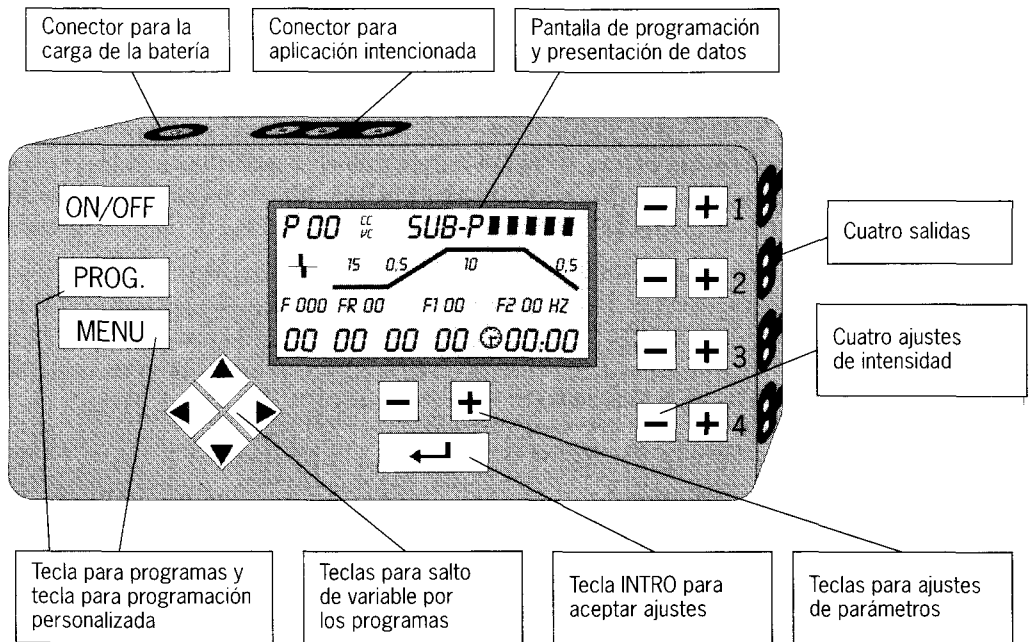


Figura XI.57.

- pantalla de cristal líquido donde se presentan los parámetros más importantes y la evolución de programación;
- puede disponer de programas pregrabados y memorias libres para programar por el usuario;
- ofrecer varias formas de onda (cuadrangulares monofásicas y cuadrangulares bifásicas consecutivas);
- ajuste de anchura de pulso entre 0,05 y 0,5 ms (50 – 500  $\mu$ s);
- ajuste de frecuencias entre 1 y 500 Hz;
- posibilidad de aplicar reposo activo;
- posibilidad de aplicar barridos de frecuencia o modulaciones de frecuencia;
- posibilidad de practicar modulaciones en anchura de pulso;
- posibilidad de tratamiento simultáneo de agonistas y antagonistas;
- posibilidad de ajuste del componente galvánico para tratamientos bioquímicos e iontoforesis.

## Análisis detenido del neuroestimulador

El corazón de estos aparatos está en su pantalla y en la información que refleja. Veamos las deferentes secciones de este hipotético estimulador (Fig. XI. 38):

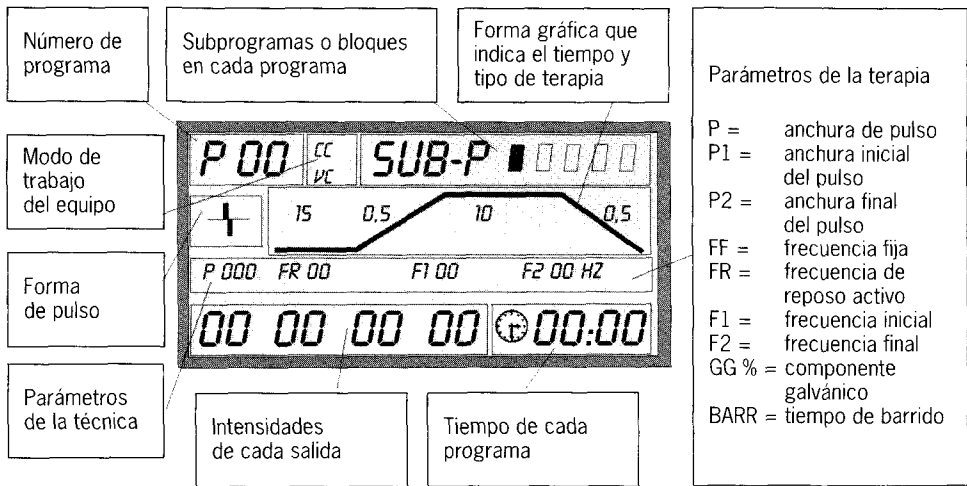


Figura XI.58.

**Número de programa (P00).** Indica el número de programa. Normalmente disponen de unos 100 programas (digamos que, del 00 al 70, programados; y del 71 al 99, memorias libres para ser programadas por el usuario).

**Modo de trabajo del equipo.** Está representado por una doble expresión (CC y VC): corriente constante y voltaje constante. La opción de CC se reservará para aplicaciones en las que se conserve el componente galvánico; la opción VC se aplicará en las técnicas bifásicas. Pero es importante en algunas ocasiones el cambio a voluntad.

**Subprogramas o bloques de cada programa (SUB-P ■■■).** El número de bloques rectangulares que se presenten en pantalla indicaría el número de subprogramas que contiene cada programa. Supongamos un calentamiento muscular, seguido de una potenciación muscular y finalizado con una relajación muscular.

**Forma de pulso.** Dispondremos al menos de dos formas de pulso: cuadrangular monofásico y cuadrangular bifásico consecutivo. La forma monofásica será muy útil cuando interese la polaridad de los electrodos y el efecto de componente galvánico.

**Forma gráfica que indica el tiempo y tipo de terapia.** En una zona importante de la pantalla se representará de forma gráfica el tipo de terapia (trenes, aplicaciones en frecuencia fija, modulaciones de frecuencia, modulaciones en amplitud o componente galvánico) acompañada de la información numérica que se precise: tiempo de la pausa, tiempo del tren, tiempo de la rampa.

**Parámetros de la técnica.** Esta importante información completa la anterior referente al tratamiento aplicado: tiempo del pulso, frecuencias, frecuencias de barrido, componente galvánico, tiempos de barrido, etc. (ver figura XI. 38 y observar toda la línea en las diferentes pantallas).

**Intensidades de cada salida.** Cada salida debe reflejar los miliamperios aplicados. En algunas técnicas es muy importante (componente galvánico), mientras que en otras (trenes

para contracción muscular) es información intrascendente. Al menos, sabemos cuál y cuándo están trabajando las diferentes salidas.

**Tiempo del programa o de la sesión.** Un cronómetro controlará e indicará el tiempo de la sesión en cuenta atrás.

### Tipos de terapias posibles en el neuroestimulador

**Trenes para trabajo muscular.** Se representa con el grafismo de un trapecio (Figs. XI. 39 y XI. 40). Podrán ser con pulsos monofásicos o bifásicos. Vemos una línea horizontal y baja que indica la pausa o reposo entre trenes expresado en segundos. Esta pausa puede presentar total ausencia de corriente o mantener una corriente de fondo. Hay dos líneas que ascienden y descienden, respectivamente: la rampa, con sus tiempos de subida y de bajada en segundos. La línea horizontal más alta representa el tiempo durante el cual trabaja la corriente para provocar la contracción muscular. Podemos ajustar una frecuencia fija o una de inicio y otra final.

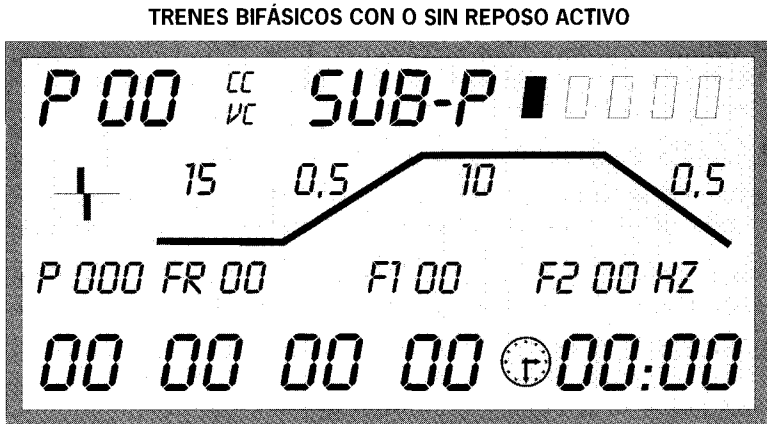


Figura XI.39.

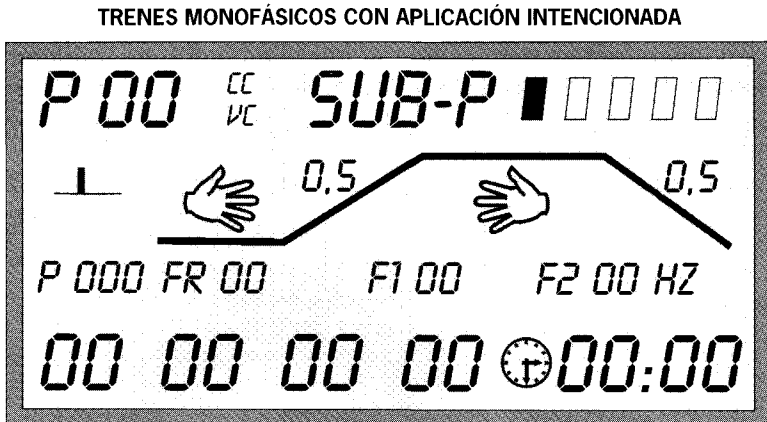


Figura XI.40.

### Parámetros de la terapia

- Modo de trabajo: VC.
- Forma del pulso: monofásico o bifásico.
- Anchura del pulso (P): desde 50 a 500  $\mu$ s.
- Frecuencia de reposo (FR): de 0 a 6 Hz (0 Hz indica ausencia de corriente en la pausa).
- Frecuencia de inicio (F1): de 10 a 120 Hz.
- Frecuencia de final (F2): de 10 a 120 Hz. (Para frecuencia única, póngase los dos generadores con el mismo valor). Normalmente, F2 siempre será más elevada que F1. En caso de manejo erróneo que pudiera alterar esta función, el programa arrastrará los valores de la otra frecuencia.
- Tiempo de pausa: desde 1 hasta 60 sg (al bajar de 1 sg, aparecerá un icono que indica el control manual de este parámetro). El tiempo de pausa siempre será igual o mayor que el de trabajo o del tren. Los ajustes de tren y de pausa quedarán totalmente libres salvo para impedir que la pausa sea menor que el tren.
- Tiempo para subida de rampa: de 0,2 a 5 sg.
- Tiempo para bajada de rampa: de 0,2 a 5 sg.
- Tiempo para mantenimiento del tren: de 1 a 30 sg (al bajar de 1 sg, aparecerá un icono que indica el control manual del circuito, activando así la opción de aplicación intencionada).

La información sobre los miliamperios aplicados en trabajo muscular con trenes tiene escasa importancia, ya que la referencia para dosificar la tomaremos de la contracción conseguida, observada y considerada como la pretendida.

En caso de incluir la función de trabajo alternativo agonistas/antagonistas, quizás lo más conveniente sería habilitar una nueva pantalla en la que se representaran dos trenes —bien coincidentes o bien desfasados entre sí—, de manera, que cuando uno trabaja en otro, relaja alternativamente.

**Aplicación de frecuencia fija con componente galvánico.** El dibujo de pulsos que se repiten con la misma separación indica una aplicación mantenida y de frecuencia fija durante toda la sesión. Lógicamente, se ajustarán pulsos monofásicos y frecuencias altas para alcanzar valores de componente galvánico importantes. Por ejemplo: si ajustamos los pulsos a 500  $\mu$ s y frecuencia de 500 Hz, el componente galvánico será del 25%. Aplicación interesante para dolores de tipo bioquímico y para practicar iontoforesis (Fig. XI. 41).

### Parámetros de la terapia

- modo de trabajo: CC;
- forma del pulso: monofásico;
- anchura del pulso (P): desde 50 a 500  $\mu$ s;

APLICACIÓN MANTENIDA CON PULSOS MONOFÁSICOS Y COMPONENTE GALVÁNICO

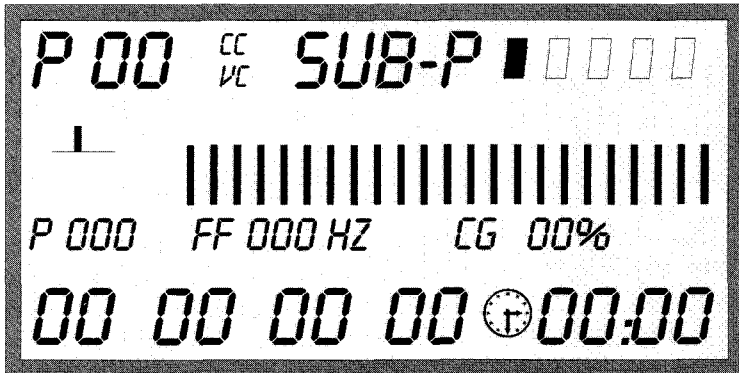


Figura XI.41.

- frecuencia fija (FF): de 1 a 500 Hz;
- componente galvánico: presentará el valor que calcule según la frecuencia y anchura de pulso ajustadas.

**Aplicación de frecuencia fija con pulsos bifásicos sin componente galvánico.** El dibujo de pulsos que se repiten con la misma separación indica una aplicación mantenida y de frecuencia fija durante toda la sesión. Si los pulsos son bifásicos, desaparecerá el componente galvánico. Esta corriente se aplicará para analgesia en dolores de tipo neurálgico (Fig. XI. 42).

Parámetros de la terapia

- modo de trabajo: CC o VC;
- forma del pulso: bifásico;
- anchura del pulso (P): desde 50 a 500  $\mu$ s;
- frecuencia fija (FF): de 1 a 500 Hz.

APLICACIÓN MANTENIDA A FF CON PULSOS BIFÁSICOS

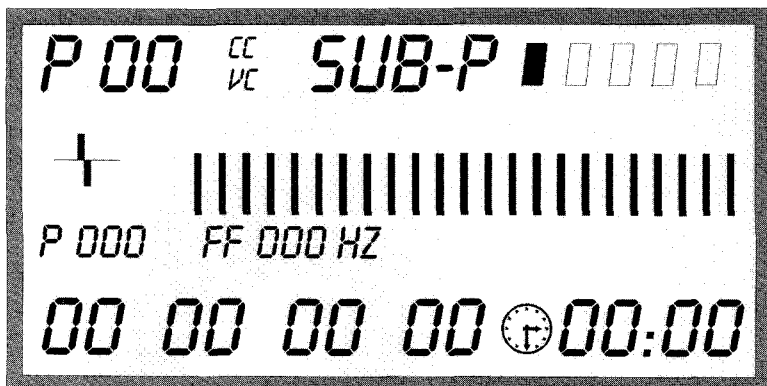


Figura XI.42.



**Aplicación de modulación de frecuencia con pulsos monofásicos o bifásicos con componente galvánico o sin él.** El dibujo de pulsos que se repite con diferente separación indica una aplicación mantenida durante toda la sesión, pero cuya frecuencia cambia de acuerdo con un tiempo de barrido ajustado por el usuario. Si los pulsos son bifásicos, desaparecerá el componente galvánico. Esta corriente se aplicará para analgesia en dolores de tipo neurálgico (Fig. XI. 43), tratando de evitar el efecto de acomodación sensitiva.

**Parámetros de la terapia**

- modo de trabajo: CC o VC (normalmente VC);
- forma del pulso: monofásicos o bifásico;
- anchura del pulso (P): desde 50 a 500 µs;
- frecuencia de inicio (F1): de 1 a 500 Hz;
- frecuencia final del barrido (F2): de 1 a 500 Hz. El programa mantendrá una diferencia mínima de 5 Hz. F1 siempre será más baja que F2. En caso de que se manipule el ajuste pretendiendo invertir esta función, el equipo arrastrará los valores de la otra frecuencia para mantener siempre  $F2 > F1$ ;
- Tiempo del barrido (BARR): este tiempo se ajustará entre 1 y 15 sg.

**Aplicación de modulación en anchura de pulso con pulsos monofásicos o bifásicos con componente galvánico o sin él.** El dibujo de pulsos que se repite con diferente anchura indica una aplicación mantenida durante toda la sesión pero la anchura de sus pulsos oscila cadencialmente entre dos valores de acuerdo con un tiempo de barrido ajustado por el usuario. Si los pulsos son bifásicos, desaparecerá el componente galvánico. Esta corriente se aplicará para analgesia en dolores de tipo neurálgico (Fig. XI. 44), tratando de evitar el efecto de acomodación sensitiva.

**Parámetros de la terapia**

- modo de trabajo: CC o VC;
- forma del pulso: monofásico o bifásico;

**MODULACIÓN DE FRECUENCIA CON PULSOS MONO O BIFÁSICOS**

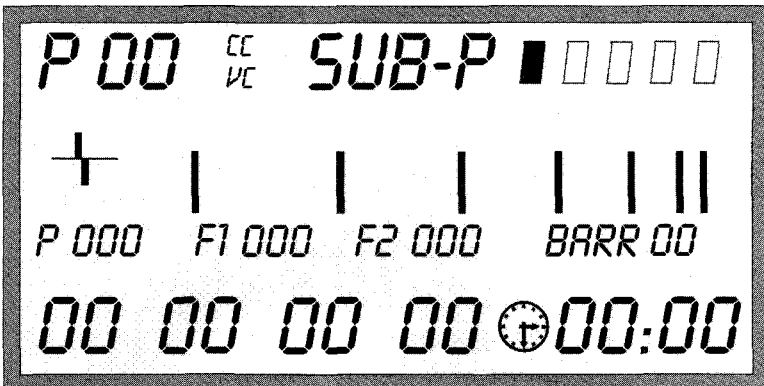


Figura XI.43.

MODULACIÓN EN ANCHURA DE PULSO CON PULSOS MONO O BIFÁSICOS

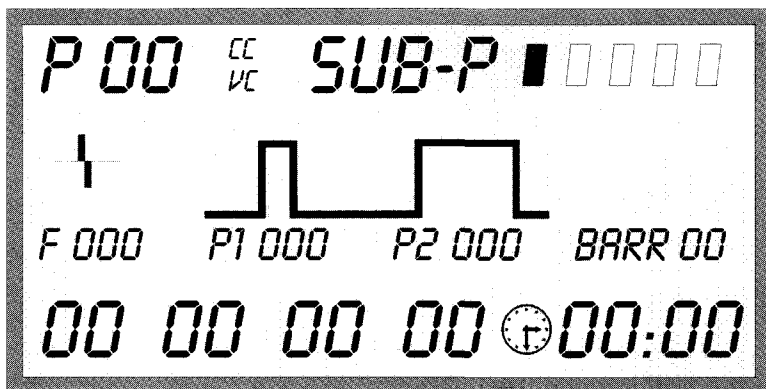
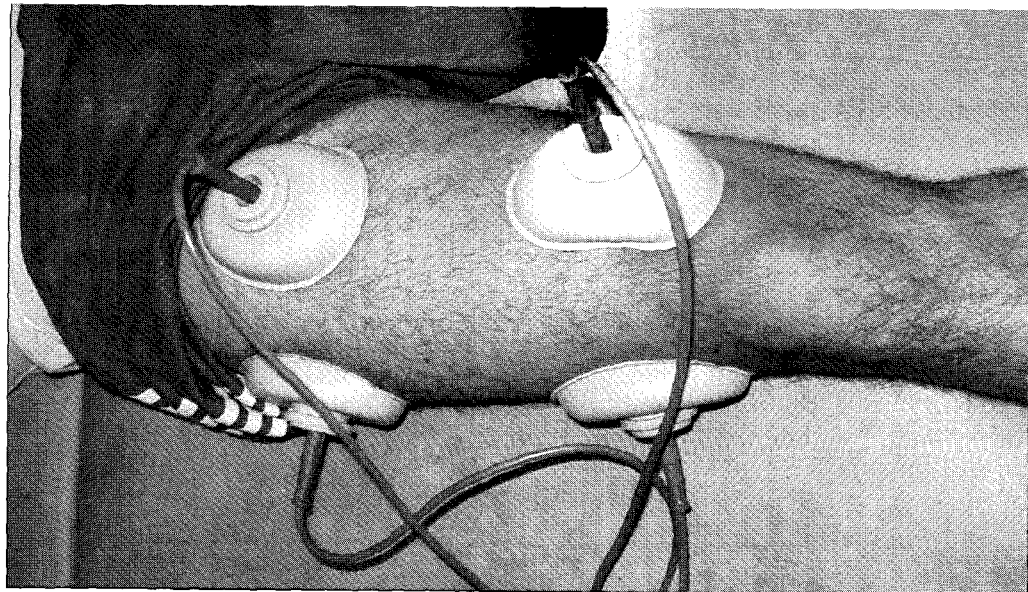


Figura XI.44.

- frecuencia fija (F): ajustable entre 1 y 500 Hz;
- anchura del pulso inicial (P1): desde 50 a 500  $\mu$ s;
- anchura de pulso final (P2): de 1 a 500 Hz. El programa mantendrá una diferencia mínima de 50  $\mu$ s. P1 siempre será más bajo que P2. En caso de que se manipule el ajuste pretendiendo invertir esta función, el equipo arrastrará los valores de la otra frecuencia para mantener siempre  $P2 > P1$ ;
- tiempo del barrido (BARR): este tiempo se ajustará entre 1 y 15 sg.

Universidad Católica del Maule  
Biblioteca Campus San Miguel



## CAPÍTULO XII

### Media frecuencia, Interferenciales y Kotz

#### Media frecuencia

Después de haber tratado capítulo a capítulo la baja, entraremos en la **media frecuencia**, aunque cada vez las diferencias entre ambas se hacen menores, pues los equipos estimuladores de baja están ampliando sus posibilidades y algunos ya incluyen los 5.000 Hz. Basta con seleccionar pulsos de 0,1 ms y reposos de 0,1 ms.

La media frecuencia se caracteriza por utilizar ondas alternas sinusoidales entre 2.000 y 10.000 Hz como portadora (Fig. XII. 1).

En el capítulo II, se establece la división de frecuencias entre la baja, media y alta dentro de los siguientes límites:

- *baja frecuencia* (0)1 a 1.000 Hz;
- *media frecuencia* 1.000 a 500.000 Hz (de 2.000 a 10.000 Hz en la práctica);

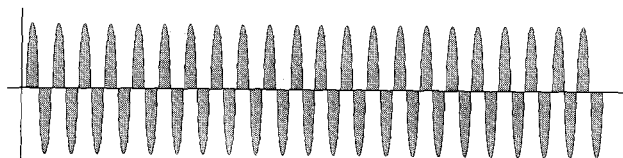


Figura XII.1.

— *alta frecuencia* de 500.000 Hz en adelante, hasta el límite con las radiaciones ionizantes.

Por otra parte, cada vez se está usando más la media frecuencia para aplicarla con efectos propios de la baja, como la potenciación muscular, e incluso en ciertas denervaciones neurológicas parciales. Por el momento, se excluyen los efectos galvánicos, fáciles de conseguir si las corrientes portadoras de media frecuencia (moduladas en baja o interferenciales) son sometidas al filtraje de un *diodo* (Fig. XII. 2).

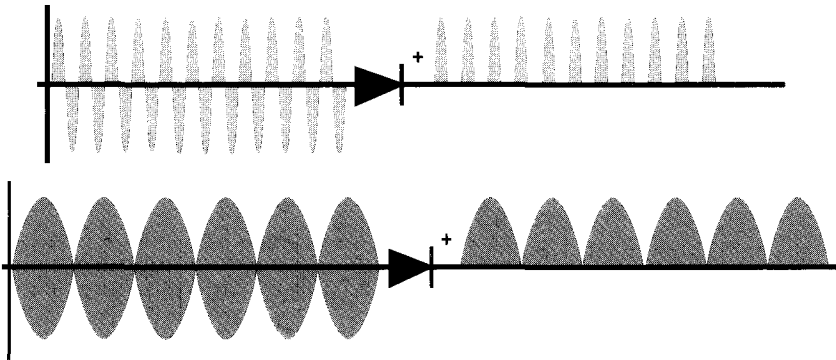


Figura XII.2.

Como se explicará más detalladamente, *el recurso de la media frecuencia, originariamente, busca aplicar intensidades importantes a los pacientes sin que éstos manifiesten molestias al paso de la corriente.*

Se observó que al aumentar las frecuencias, disminuye la impedancia de los tejidos, así como los efectos sensitivos y motores; luego el paso de la corriente se convierte en un estímulo de molestia muy débil, perfectamente soportable, aunque se aumente de forma importante la intensidad.

Este fenómeno dio al Dr. Nemeč la idea para aprovechar estas condiciones y, apoyándose en el efecto batido de dos frecuencias que se entremezclan, diseñó el equipo y la metodología que consistió en aplicar dos circuitos cruzados, convirtiendo las clásicas aplicaciones *bipolares* de baja frecuencia en *tetrapolares* de media frecuencia (Fig. XII. 3). Posteriormente, fue evolucionando el método y también se pueden hacer aplicaciones *bipolares* de media frecuencia.

Dado que el destino de la media frecuencia es el de su utilización como *corriente portadora* de fácil penetración, para después transformarse en *modulaciones* de baja, conseguiremos esta transformación *en el interior del organismo* mediante interferencia de dos circuitos con una aplicación *tetrapolar* (Fig. XII. 4). También se puede provocar *en el interior del aparato*, con lo que por ambos circuitos aparecerá la interferencia o modulación, disponiendo de la opción para aplicar cada circuito de forma independiente, *bipolar*.

## Sistema para fijación de electrodos

Dado que este sistema requiere frecuentemente del uso simultáneo de cuatro electrodos, es realmente complejo fijarlos en determinadas zonas corporales, de manera que el Dr.

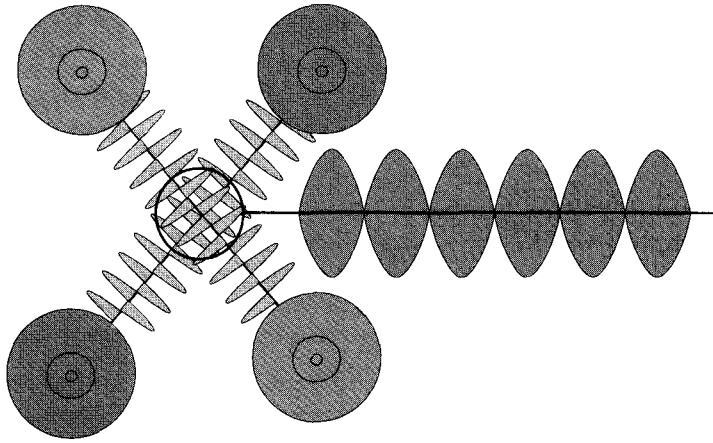


Figura XII.5.

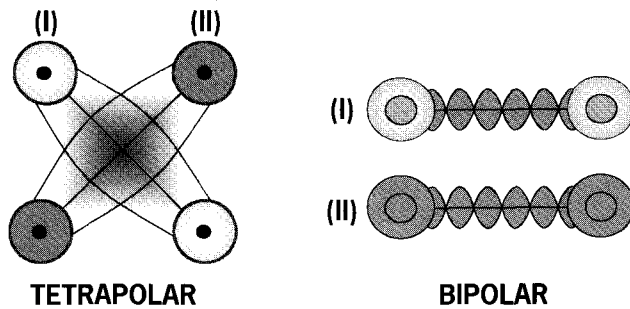


Figura XII.4.

Nemec diseñó un sistema ingenioso para mantener los electrodos fijos a la piel sin requerir bandas fijadoras. Creó el sistema de vacío relativo sobre unas ventosas de goma o silicona que se adhieren por succión debido al vacío relativo y suficiente como para que se mantengan firmes sobre la piel sin caerse, aunque el paciente se mueva (Fig. XII. 5). Dichas ventosas, además de transmitir la succión del aire contenido en su interior, transmiten la corriente a través de una placa metálica separada de la piel por su correspondiente esponja humedecida.

Estos electrodos permiten la separación y recolocación sobre otra zona, tantas veces como se desee, **aunque la corriente esté pasando**, sin que moleste al paciente. Ello es debido a que los estimuladores de media frecuencia trabajan «habitualmente» en tensión o voltaje constante (VC), al contrario que en los de baja frecuencia, que lo hacen en intensidad o corriente constante (CC).

La aplicación mediante ventosas hace que popularmente se conozca a estos electroestimuladores con el sobrenombre de «las ventosas». No obstante, se mantiene el sistema clásico de electrodos convencionales sin succión y destinados a ser fijados por bandas elásticas, como en la baja frecuencia. Más adelante se mencionarán otras modalidades de electrodos (Fig. XII. 6).

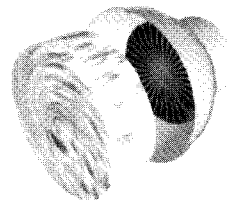


Figura XII.5.

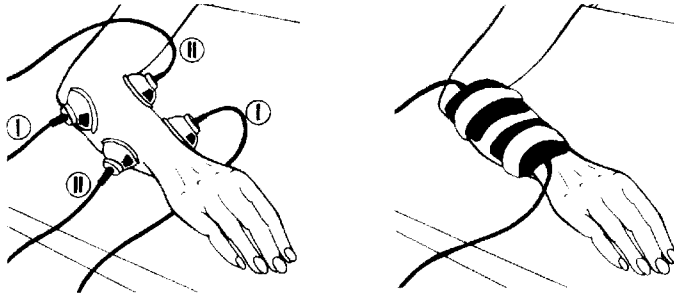


Figura XII.6.

## Interferenciales clásicas

Las interferenciales clásicas proceden de una portadora con corrientes alternas, sinusoidales de *media frecuencia*, alrededor de 4.000 Hz en dos circuitos eléctricos que se cruzan, se mezclan o *interfieren* entre sí, con la característica básica de que entre ambos circuitos tiene que existir una diferencia en frecuencias (por encima o por debajo) de  $\pm 100$  Hz en los equipos de primera generación y de  $\pm 250$  Hz en los más modernos (Fig. XII. 7). Circunstancia que es aprovechada para obtener una nueva frecuencia equivalente a la diferencia entre las originales, debido al referido efecto de *interferencia* o batido.

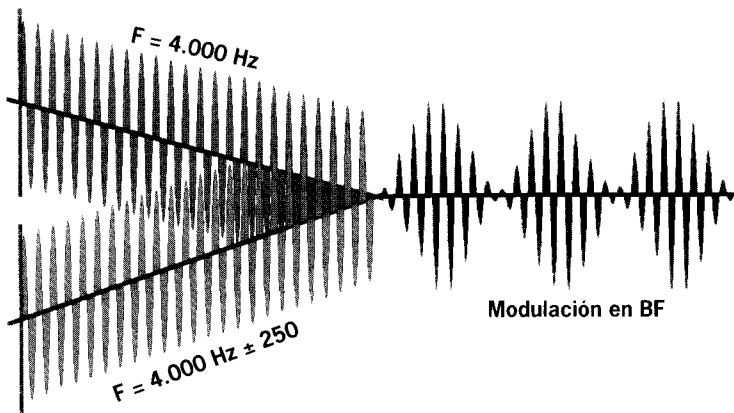


Figura XII.7.

Esta forma de tratamiento por *interferenciales clásicas*, al realizarse con dos circuitos eléctricos, obliga a usar cuatro electrodos. Los últimos diseños se están fabricando con frecuencia portadora regulable entre 2.000 y 10.000 Hz. Las bajas frecuencias así conseguidas serán las que nos proporcionen los efectos fisiológicos pretendidos.

En el efecto batido, como se expuso en el capítulo I, vemos que cuando dos ondas coinciden en el mismo tiempo con la misma polaridad, se superponen entre sí dando una nueva onda de mayor energía que las originales. Pero, si coinciden dos ondas de signo opuesto e igual amplitud, éstas se anulan mutuamente, dejando un espacio a cero de energía. Si las dos ondas coincidentes son de signo opuesto, pero una mayor que la otra, aparecerá la

nueva onda de amplitud menor, equivalente a la resta entre las dos amplitudes de onda coincidentes. Ejemplo:  $+50\text{ V} - (-60\text{ V}) = -10\text{ V}$ .

Luego, dado que en los dos circuitos portadores de 4.000 Hz ( $\pm 250$ ) coinciden en abundantes ocasiones como anulativas, la resultante será de 0 a 250 Hz (Fig. XII. 7). Ejemplo:  $4.000 - 3.920 = 80\text{ Hz}$  de batido.

Esta es la forma clásica para conseguir las interferenciales originales y que se generan en el interior del organismo al cruzar dos circuitos (cuatro electrodos). Pero se ha evolucionado a aplicaciones donde la interferencia, efecto batido o modulación de la media frecuencia, se aplica de forma bipolar, es decir, la modulación se consigue dentro del equipo y se aplica ya modulada con el primer circuito, el segundo o ambos independientes.

Entonces, cuando deseemos conseguir una interferencial clásica o que se modulen los dos circuitos entre sí dentro del organismo, indefectiblemente hablaremos de media frecuencia *tetrapolar*. En caso de aplicar media frecuencia ya modulada dentro del equipo (no sobre el paciente), nos referiremos a media frecuencia *bipolar*, aunque estemos utilizando los cuatro electrodos, pues consideraremos que cada dos electrodos (normalmente del mismo color) son un circuito que trabaja por independiente (Fig. XII. 8).

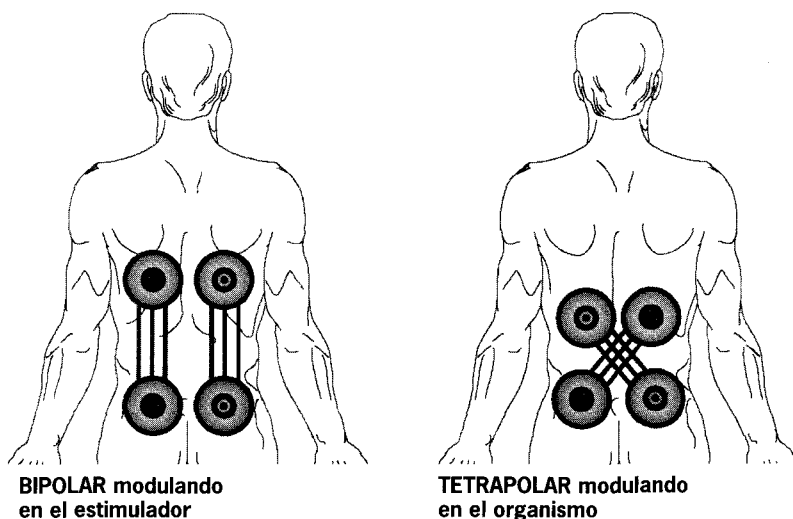


Figura XII.8.

## Tipos de modulación

En cuanto a la forma de modulación, en media frecuencia se emplean tres tipos fundamentales:

- Modulación sinusoidal, la más habitual y característica de las *interferenciales clásicas* (Fig. XII. 9A).
- Modulación cuadrangular, usada para el fortalecimiento muscular formando trenes de las corrientes de Kotz (Fig. XII. 9B).

- Modulación triangular, usadas para el tratamiento de las denervaciones periféricas (Fig. XII. 9C).

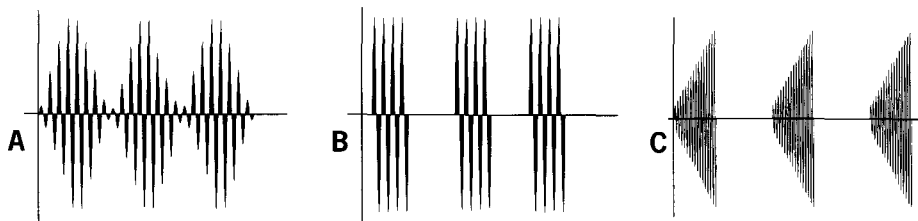


Figura XII.9.

En cuanto al conjunto o agrupamiento de las ondas, el batido o *interferencia* de dos circuitos próximos a 4.000 Hz da como resultado una gama de nuevas corrientes que ya fueron clasificadas como:

- moduladas en amplitud (AM) y
- moduladas en amplitud y frecuencia simultáneamente (AMF).

Modulación en amplitud implica que la frecuencia es fija, pues solamente se están generando *cambios* o *modulaciones* en sentido vertical (AM) (Fig. XII. 10).

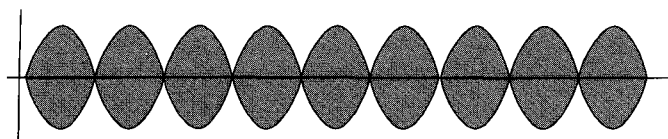


Figura XII.10.

Modulación en frecuencia (sinónimo de cambios en la frecuencia) implica que necesariamente existirán **barridos de frecuencia**, pues aparecen *cambios* o *modulaciones* en sentido vertical y horizontal simultáneamente (AMF) (Fig. XII. 11).

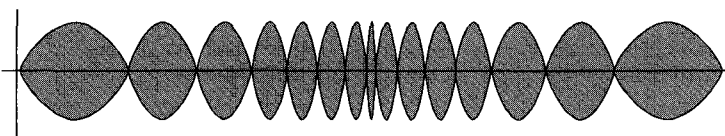


Figura XII.11.

Los equipos para aplicar media frecuencia en modo clásico dentro del paciente o moduladas en el mismo equipo se emplean para *ajustar corriente con*:

- modulaciones en una frecuencia fija y mantenida durante la sesión (Fig. XII. 12A);
- modulaciones en barridos de frecuencia durante toda la sesión (Fig. XII. 12B) y
- modulaciones agrupadas en trenes o ráfagas con sus pausas (Fig. XII. 12C).

Más adelante se aclararán modificaciones sobre estos tres modos básicos.



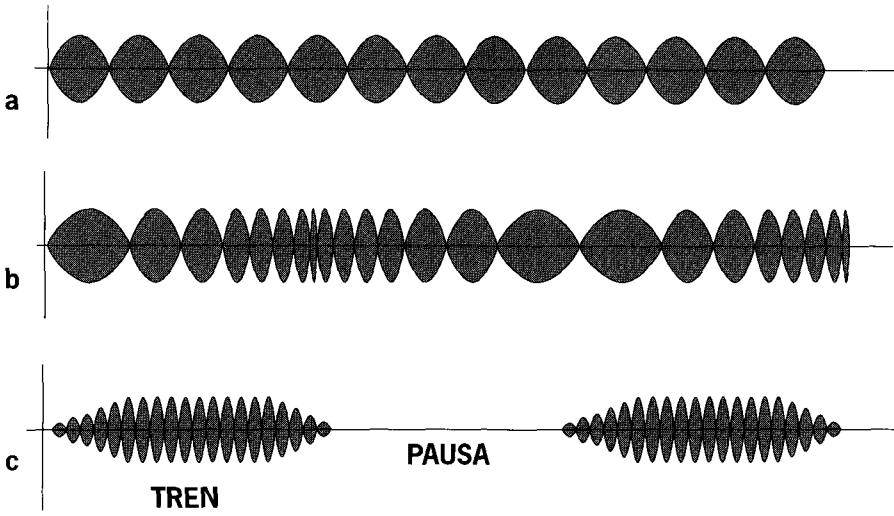


Figura XII.12.

### Nivel de modulación en AM

Tomando como referencia una aplicación *tetrapolar* (Fig. XII. 13), consideramos que la frecuencia de la corriente portadora sufre disminuciones en su intensidad desde su máximo hasta alcanzar el cero, para volver a elevarse (modulación al 100%). Pero, por otra parte,

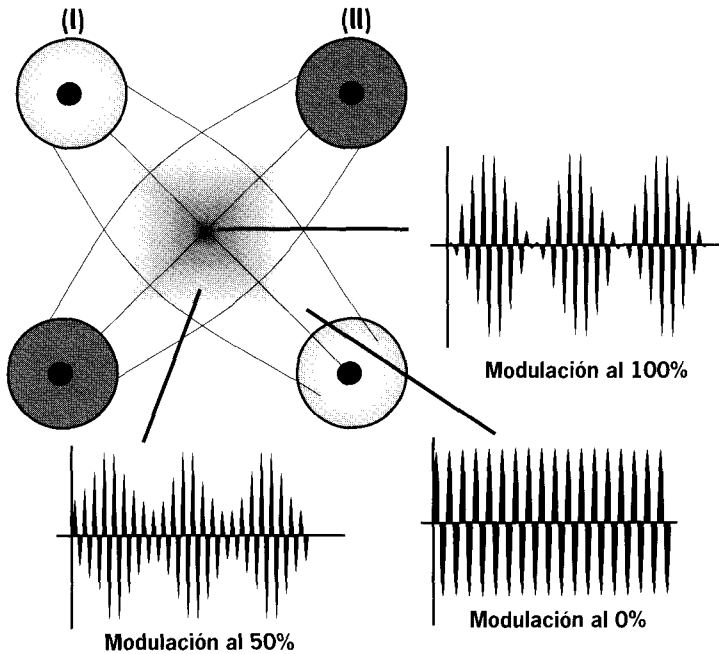


Figura XII.15.

puede permanecer sin variaciones en su intensidad (modulación al 0%). En otras circunstancias, encontraremos diferentes niveles de modulación dependiendo de que tomemos como referencia las medidas próximas al centro del batido o junto a un electrodo.

Cuando realizamos tratamientos *bipolares*, en los que la interferencia o modulación se realiza dentro del equipo, la modulación siempre emergerá por los electrodos con el 100% de modulación.

## Diferentes sistemas de media frecuencia

En los párrafos anteriores consideramos que AM indica una modulación con frecuencia fija y AMF modulaciones en amplitud y frecuencia simultáneamente (los denominados barridos), tanto si se generan sobre el paciente como si se consiguen dentro del aparato. Sin embargo, los fabricantes suelen referirse a la modalidad de AMF cuando se generan dentro del equipo y se aplican en modo bipolar, siendo la corriente de frecuencias fijas, en barridos o trenes. Estos mismos fabricantes también reservan la abreviatura de IF para las interferenciales clásicas, donde se modulan las corrientes dentro de los tejidos y en modo tetrapolar, sin importar que las corrientes emerjan por los electrodos para modularse como frecuencia fija, trenes o en barridos.

Asimismo, la nomenclatura de manejo y denominación de las corrientes generadas tampoco coincide entre fabricantes. De esta guisa, encontraremos diferencias entre los equipos de primera generación, para interferenciales clásicas, y los actuales aparatos. Además, las diferencias entre fabricantes son tan llamativas que, en ocasiones, los conceptos aprendidos con un equipo no se pueden trasladar a otro de diferente fabricación.

## MEDIA FRECUENCIA DE PRIMERA GENERACIÓN

Los aparatos diseñados por el equipo del Dr. Nemeč para interferenciales clásicas con modulación sinusoidal consistían en dos circuitos generadores de 4.000 Hz y  $4.000 \pm 100$  Hz para interferirlos de forma *tetrapolar* sobre el paciente. De esta manera, se aplicaban barridos entre dos límites o frecuencia fija.

La frecuencia de modulación fija (AM) se podía regular entre 0 y 100 Hz.

Los barridos de frecuencia más habituales (AMF) variaban de unos equipos a otros, pero podrían ser de:

- 0 a 10 Hz;
- 0 a 25 Hz;
- 0 a 50 Hz;
- 0 a 100 Hz;
- 50 a 100 Hz;
- 80 a 100 Hz y
- posibilidad de establecer manualmente una frecuencia fija.

El tiempo transcurrido entre la frecuencia mínima, el ascenso hasta la máxima y la vuelta a la mínima, solía fijarse en 10 segundos.

La aplicación de un único circuito (dos electrodos) inyectaba la portadora de media frecuencia con modulación 0%. Todavía no existía la modulación en el equipo.

## MEDIA FRECUENCIA DE SEGUNDA GENERACIÓN

Posteriormente, se añadieron características que permitan las aplicaciones *tetrapolares* y *bipolares*, es decir, *interferencia dentro del paciente e interferencia dentro del aparato*. Las condiciones de barridos y de frecuencia fija se mantenían o se mejoraban. La modulación sigue siendo sinusoidal.

La posibilidad de formar trenes todavía no era posible, salvo alguna excepción o truco para formarlos. Tampoco incluían las corrientes de Kotz, pues éstas se caracterizan por ser trenes con modulación cuadrangular.

## MEDIA FRECUENCIA DE TERCERA GENERACIÓN

Se inicia la fabricación de equipos que aportan multitud de posibilidades para mejorar los tratamientos y corrientes generadas, permitiendo combinaciones que en algunas marcas ni tan siquiera tienen lógica. Son los equipos actuales.

En los aparatos de última generación se han ampliado los límites de frecuencia de modulación hasta 200, 250, 300 e, incluso, 500 Hz. Así como, la portadora también regulable entre 2.000 y 10.000 Hz. Las modulaciones, al menos, pueden ser cuadrangulares y sinusoidales (la triangular es poco frecuente).

Los límites de barridos son establecidos manualmente entre dos frecuencias deseadas. Los tiempos de ascenso y descenso entre los límites de frecuencia son ajustables y los saltos de un límite a otro del barrido pueden ser muy progresivos, moderados o bruscos (*contorno*).

Combinando estas variantes entre sí, se generan multitud de posibilidades. Lógicamente, debiéramos configurar las que obedezcan a razones fisiológicas. Además, las casas fabricantes no establecen los mismos sistemas de ajuste ni de nomenclatura, llegando a nombrar la misma función de distinta forma o la misma nomenclatura para distintas funciones. *Este texto pretende aclarar los conceptos fundamentales, sin entrar a polemizar sobre cuál es la más adecuada.*

Ejemplo de lo dicho puede ser la siguiente situación: en unos sistemas de trabajo, para establecer un barrido entre dos frecuencias o límites de modulación, digamos de 80 a 100 Hz, se regula la frecuencia menor (80 Hz) y la frecuencia mayor (100 Hz) para que el equipo ascienda y descienda repetidamente entre ambas. Otras casas establecen un manejo basado en regular la frecuencia menor (80 Hz) y un espectro (de 20 Hz en este caso), con el fin de que el aparato oscile entre los 80 y ascienda 20 Hz más (los 100 sin nombrarlos). Son distintos sistemas, pero de iguales resultados.

## Barridos de contorno triangular

Podemos encontrarnos con el clásico barrido (espectro para otros fabricantes), que oscila en un vaivén monótono y homogéneo, desde una frecuencia mínima hasta la máxima, para volver, pasando por todas las frecuencias del espectro en un tiempo determinado: contorno triangular (Fig. XII. 14).

Encontraremos dos valores como frecuencias límites, la mínima y la máxima del barrido o espectro, junto con un gráfico en el que se reflejen dos cantidades que forman un contorno triangular, como los tres ejemplos de la figura, 3:3; 6:6 ó 10:10. Significando que 3:3 son los tres segundos de ascenso seguidos de los otros tres de descenso, repitiéndose la cadencia indefinidamente.

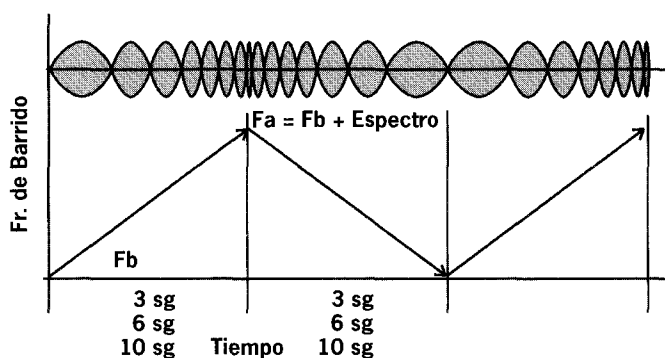


Figura XII.14.

## Barridos de contorno trapezoidal

Por otra parte, también es habitual disponer de la posibilidad para regular barridos o espectros entre dos frecuencias, mínima y máxima, con un tiempo detenido en la frecuencia mínima, otro instante para ascender hasta la frecuencia máxima, otro tercer período para mantenerse en la frecuencia máxima y, por fin, un cuarto tiempo para descender a la frecuencia mínima (Fig. XII. 15 A y B).

Así, en el gráfico podemos apreciar las dos frecuencias fijas (mínima y máxima) que se mantienen unos instantes. Se intercalan entre ellas los barridos que transcurren durante otro tiempo, formándose de esta manera el contorno trapezoidal de valores iguales, como en los dos ejemplos, 3:3:3 y 6:6:6 (Fig. XII. 15 A), así como de valores distintos y ajustables.

Algunos fabricantes añaden la posibilidad de ajustar los ascensos y descensos, al igual que el mantenimiento en frecuencia mínima y en frecuencia máxima mediante un porcentaje (Fig. XII. 15 B). De este manera, al tiempo de toda la cadencia entre el inicio de la frecuencia mínima y el ascenso hasta la máxima se le atribuye un tiempo total (100%), por ejemplo: 10 sg. Al ascenso (así como al descenso), se le aplica un porcentaje entre 0 y 100%, de manera que si se ajusta el 50% se emplea la mitad del tiempo en la frecuencia baja y la otra mitad en ascender hasta la alta (del ejemplo, 5 sg en frecuencia mínima y 5 sg en ascender; 5 sg en frecuencia máxima y 5 sg en descender). Si se ajustara el 100%, el contorno

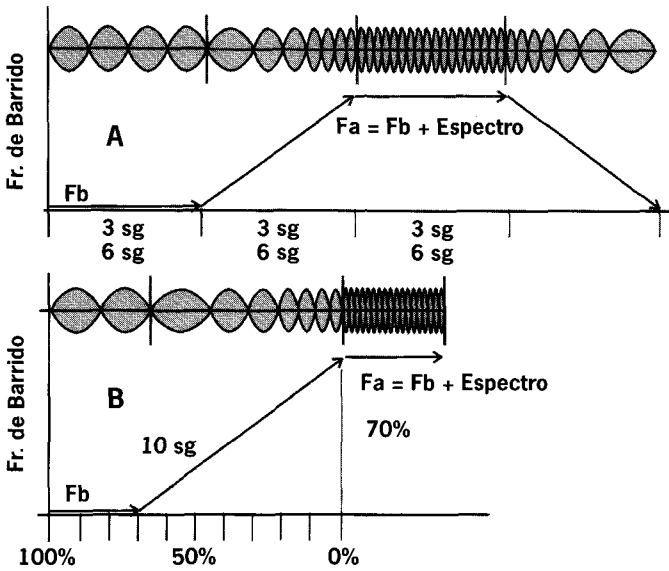


Figura XII.15.

sería triangular, ya que el total del tiempo atribuido se utilizaría en ascender y descender (del ejemplo, 0 sg en frecuencia mínima y 10 sg en ascender; 0 sg en frecuencia máxima y 10 sg en descender). Ajustando el 0%, el contorno sería cuadrangular, dado que todo el tiempo atribuido a la cadencia se emplearía en mantenerse en la frecuencia mínima o en la máxima, siendo el 0% (cambio busco) para ascender o descender (del ejemplo, 10 sg en frecuencia mínima y 0 sg en ascender; 10 sg en frecuencia máxima y 0 sg en descender).

### Barridos de contorno cuadrangular

Otra modalidad de aplicar barridos o espectros entre dos frecuencias se basa en el paso brusco entre dos frecuencias ajustadas, una como mínima y otra como máxima. De esta forma, veremos una frecuencia fija durante unos segundos, un ascenso brusco hasta la frecuencia máxima durante cero segundos y un mantenimiento en la frecuencia alta, para volver bruscamente a la mínima (Fig. XII. 16).

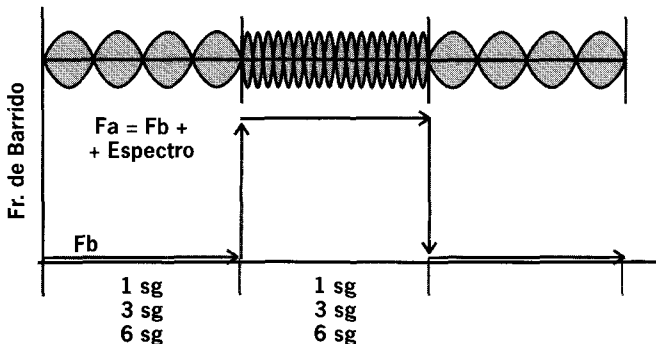


Figura XII.16.

El contorno, en este caso, será cuadrangular, debido al ascenso y descenso brusco entre las frecuencias límite. En los trapezoidales también se puede conseguir esta forma, salvo que el diseño de fabricación no lo permita o que precisamente el sistema de manejo se base en conseguir los cuadrangulares partiendo de trapezoidales con el espectro al 1%.

### Trenes de media frecuencia

Los trenes, normalmente, contienen una modulación de frecuencia fija, un tiempo de ausencia de energía eléctrica (la pausa), un tiempo de ascenso en la intensidad (que no en la frecuencia), unos segundos del tren con su intensidad máxima y otro pequeño tiempo para volver progresivamente a la pausa (Figs. XII. 17 y 18).

En los trenes debiéramos disponer de la posibilidad de diseñarlos con modulación sinusoidal o cuadrangular; *dado que los trenes se usarán para el trabajo muscular intenso, resultando mejor aplicarlos con modulación cuadrangular* (Fig. XII. 18). Si no se dispone de esta opción, se utilizarán los trenes con modulación sinusoidal.

Igualmente, la aplicación de trenes debe disponer de un mando de aplicación intencionada para regular manualmente el tiempo de aplicación y el de descanso.

La corriente de Kotz consiste en trenes de media frecuencia con modulación cuadrangular y corriente portadora de 2.500 Hz, aunque esta portadora puede modificarse. Se tratarán con más detalle (Fig. XII. 48).

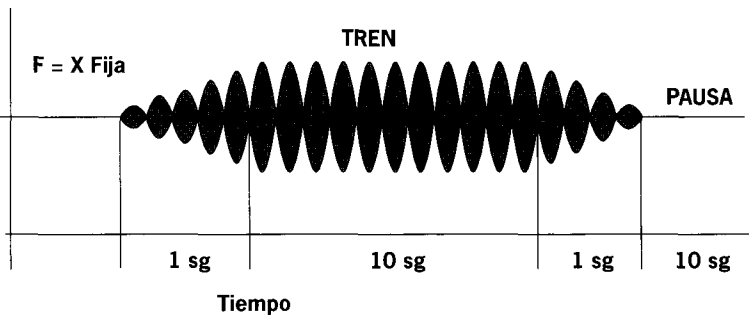


Figura XII.17.

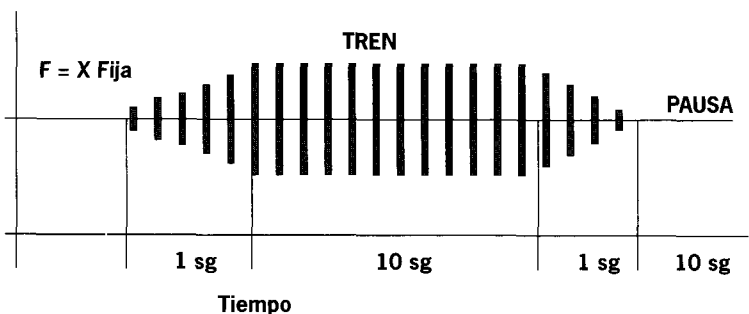


Figura XII.18.

## Modulación en frecuencia fija

Lógicamente, esta forma no requiere de contorno ni de ajustes de frecuencia mínima ni máxima, pues sólo se mantiene una determinada frecuencia.

Puede conseguirse ajustando los dos límites de los barridos a la misma frecuencia (siempre que el equipo lo permita) o como función específica.

La frecuencia fija será usada en los trenes o como aplicación mantenida para estímulo sensitivo o vibración muscular. **Es posible aplicar trenes con barridos de frecuencia, pero siempre que se adapten a la lógica de la fisiología.**

## Modulaciones triangulares aisladas

Algunos equipos de media frecuencia ofrecen la posibilidad de generar pulsos o modulaciones en forma triangular, con el objetivo de emplearlos en los tratamientos de parálisis periféricas.

Estas modulaciones deben durar entre 100 a 300 ms y separadas entre sí de 2 a 5 sg.

Dado que el organismo capta la pequeña ráfaga como estímulo único, la respuesta sería semejante a la de impulsos triangulares de la misma duración en baja frecuencia.

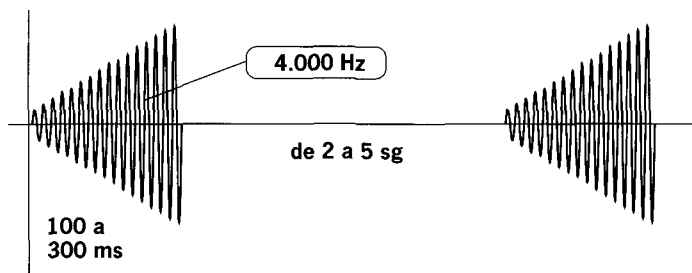


Figura XII.19.

## Posible diseño de un equipo de media frecuencia

En principio, como se explica más arriba, estos estimuladores deben disponer de salidas para aplicación con electrodos convencionales y electrodos de ventosa. Esta última modalidad implica que el equipo debe constar con un sistema de vacío que aspire el aire de la ventosa y conduzca la electricidad de la corriente.

## EL VACUÓMETRO

En la parte inferior de la figura XII. 20 podemos ver un segundo aparato añadido al principal por el que se hace pasar la corriente y donde se conectan los cables-tubos a la vez conductores de aire. Cabe apreciar doble sistema de conexión marcada como circuito (I) y circuito (II). En la parte superior encontramos las entradas procedentes del estimulador, mientras que las inferiores se destinan a salida.

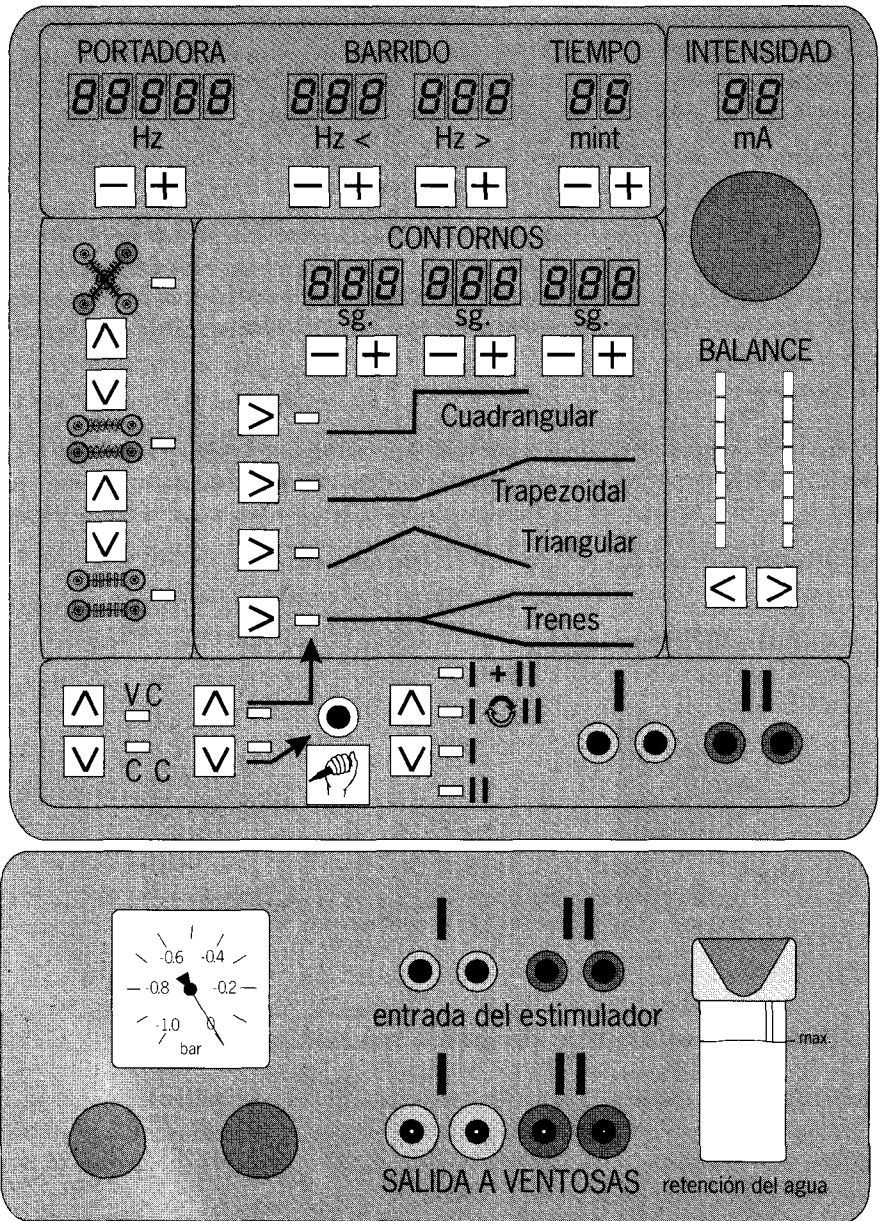


Figura XII.20.

En su parte derecha vemos un sistema de recogida de agua que puede ser absorbida de las ventosas, para evitar que se mojen los circuitos eléctricos. *En caso de que este recipiente alcance la indicación de máximo, se vaciará.*

A la izquierda se aprecia un barómetro para medir la presión negativa aplicada a las ventosas. Este limbo graduado suele dibujarse con una zona que indica los valores medios



recomendados, suficiente como para que los electrodos se mantengan bien adheridos a la piel sin que caigan.

Dos mandos situados por debajo del barómetro sirven, uno de ellos, para regular la presión y el otro para hacer que la succión aplicada sea continua o alterna con mayor o menor velocidad.

### ELECTROESTIMULADOR DE MEDIA FRECUENCIA

Los equipos generadores de media frecuencia, habitualmente, constan de los siguientes controles (Figs. XII. 20 y 21).

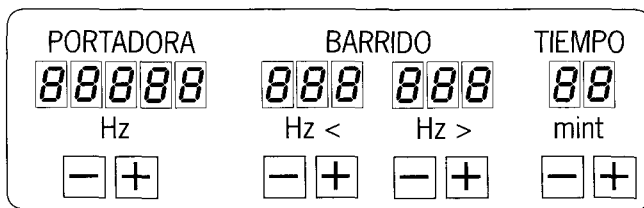






Figura XII.21.

En una primera zona, disponemos de los dígitos indicadores de frecuencia portadora (a la izquierda), normalmente regulables entre 2.000 y 10.000 Hz, ajustables mediante las teclas que aumentan o disminuyen valores. Los dos grupos de dígitos siguientes se destinan al ajuste de los valores en los barridos (el mínimo y el máximo). El tercer grupo de dígitos es el reloj para control de las sesiones (finalizar el conteo detendrá la corriente).

Recordemos que los 4.000 Hz son considerados como clásicos y portadores de referencia para la media frecuencia, pero disponiendo de la posibilidad de aplicar 2.000 hasta 10.000 Hz. Vemos que 2.000 genera un estímulo sensitivo y motor más intenso y muy definido como sensación de calambre eléctrico. Cuando nos aproximamos a los 10.000, sentiremos que la corriente se convierte en un estímulo mucho más suave, donde se pierde la percepción sensitiva y motora, pero se mantiene la capacidad de contracción muscular con la sensación de una compresión muscular (aunque requiera elevar la intensidad).

En la zona izquierda de la carátula apreciamos un grupo de controles manejados por las teclas superiores y las inferiores (Fig. XII. 22). Con las superiores podemos elegir que la interferencia o modulación se genere sobre el paciente (  ) o dentro del estimulador (  ). Si seleccionamos la primera opción, no podremos acceder a las teclas inferiores.

En caso de haber escogido la modulación dentro del equipo, haremos que la modulación sea sinusoidal (  ) o cuadrangular (  ). La modulación sinusoidal es más suave que la cuadrangular, pero ésta genera estímulos sensitivos más definidos. Fundamentalmente, se utilizará para estimulación muscular, por dejar reposos entre los pulsos que permiten la

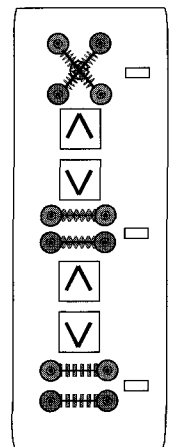


Figura XII.22.

adecuada repolarización de membrana. Luego siempre que apliquemos trenes de media frecuencia, elegiremos modulación cuadrangular.

La zona central del equipo muestra la regulación de *contornos*, representados aquí los más habituales (Fig. XII. 23). Con las teclas de la izquierda, elegimos una de las cuatro probabilidades disponibles. Con las teclas superiores, regulamos los segundos que pretendamos dar a cada fase del contorno. En el contorno cuadrangular solamente regularemos el tiempo en la frecuencia mínima y el tiempo en la máxima. Para los trapezoidales, regula-

mos el tiempo en la mínima, el tiempo ascendiendo hasta la máxima y, finalmente, el tiempo que dura ésta. El descenso será de igual duración que el ascenso.

Los anteriores contornos desaparecen si aplicamos frecuencia fija o si la mínima coincide con la máxima.

Los trenes dispondrán: de un tiempo para la pausa o ausencia total de corriente, de un tiempo de ascenso y descenso del tren (de igual duración) y de un tiempo en segundos para la duración real del tren.

En la figura XII. 24 se dibuja la zona que controla la intensidad y los ajustes en la salida de la corriente.

Arriba se localiza el conjunto de dígitos que indica la intensidad en mA; que está emergiendo, a continuación, el potenciómetro para regular la intensidad. Inmediatamente debajo se encuentran dos columnas de diodos luminosos que indican de forma aproximada y comparativa la intensidad de un canal con respecto al otro, el balance.

El balance equilibrador de intensidad es importante porque regula los desajustes de intensidad o grado de molestia que el paciente siente en un circuito con respecto al otro. Por otra parte, el balance también se usa para concentrar o dirigir el punto de mayor interferencia de unas zonas hacia otras. En ciertas ocasiones, nos permite conseguir efectos que, en la aplicación tetrapolar con interferencia dentro del paciente, no se obtienen con facilidad. Por ejemplo: cuando deseemos determinadas contracciones musculares o desviar de un grupo muscular a otro el mayor efecto contráctil.

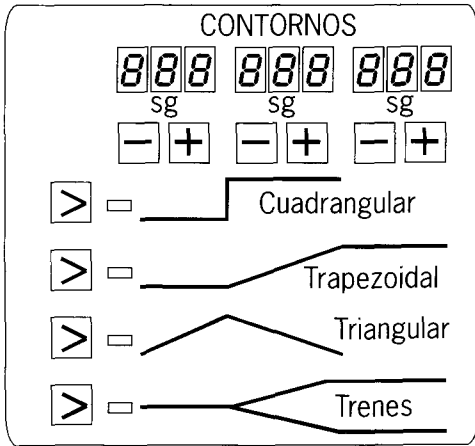


Figura XII.23.

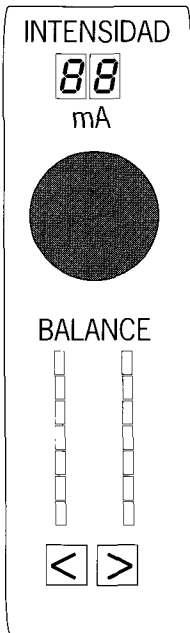


Figura XII.24.

En la figura XII. 25, de izquierda a derecha, distinguimos dos teclas con sus respectivos diodos LEDs indicadores de la función activa que ajusta el equipo para que trabaje en tensión constante (VC) o en intensidad constante (CC). Es habitual aplicar la media frecuencia en la modalidad de (VC), pues ello permite el cambio de electrodos sobre la marcha sin molestias para el paciente. Ver en capítulo I, epígrafes sobre CC y VC.

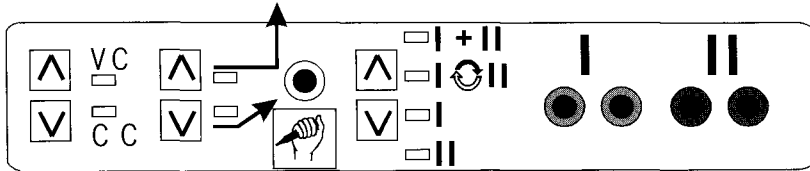


Figura XII.25.

Si queremos aplicar la modulación cero, basta con colocar sobre el paciente un solo circuito en modalidad tetrapolar y en VC, pues en CC daría error en el circuito de electrodos.

Las siguientes teclas activan al estimulador para que los trenes sean controlados de forma automática de acuerdo con los tiempos ajustados o mediante un pulsador externo que se conectará, de forma que, **mientras esté pulsado, se mantenga el tren y, al soltar, entre en pausa** (Fig. XII. 26).

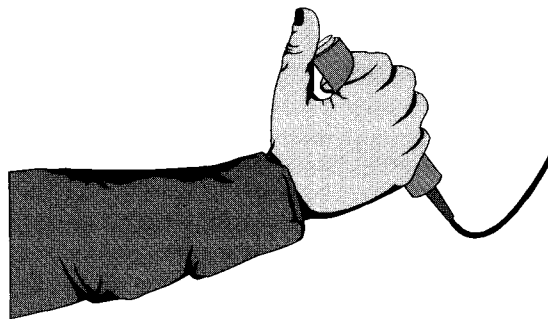


Figura XII.26.

Volviendo a la figura XII. 25, a la derecha del conector para el pulsador vemos dos teclas que activan el ascenso y descenso sobre cuatro LEDs luminosos, que nos indican que hemos seleccionado los dos canales como salida activa (I + II en el LED superior); en el siguiente LED seguimos seleccionando los dos circuitos, pero de forma que se alternan en una determinada cadencia (muy frecuente cada 10 sg), de manera que, cuando uno trabaja, el otro descansa. El tercer LED nos indica que únicamente saldrá corriente por el canal I y el último LED que sólo trabaja el canal II.

A continuación encontramos las cuatro salidas agrupadas de dos en dos (*el I y el II; los colores iguales forman un mismo circuito, al contrario que en la baja frecuencia*). Estos conectores permiten la aplicación directa al paciente mediante electrodos convencionales o para hacer enlace con el vacuómetro cuando apliquemos ventosas.

Las dos clavijas primeras corresponden a un canal y las dos siguientes al otro, pudiendo utilizar cada circuito independientemente, cuando la modulación se genera dentro del equipo; o cruzar los cuatro electrodos de ambos circuitos, cuando las modulaciones o interferencia se realicen dentro del paciente. Asimismo, en las terapias combinadas con ultrasonidos podemos usar cualquiera de los dos circuitos para conectar este equipo con otro de ultrasonidos, a fin de que un cable vaya directamente al paciente, en tanto que el otro pasa por el aparato de ultrasonidos, convirtiéndose el cabezal en electrodo.

En terapias combinadas también debemos activar el sistema VC.

## ELECTRODOS

Podemos utilizar los electrodos habituales empleados en corrientes de baja frecuencia con su gamuza humedecida y metal o goma semiconductor, de mayor o menor tamaño según nuestros deseos y objetivos, habitualmente todos iguales, ya que al ser corrientes alternas no existe polaridad ni electrodo activo. Aunque si deseamos localizar en una pequeña zona la interferencia, podemos conseguirlo con dos electrodos grandes y dos pequeños (Fig. XII. 27).

La aplicación más frecuente es la de cuatro ventosas con forma de semiesfera, conteniendo en su interior una placa metálica conductora separada de la piel por la correspondiente *esponja humedecida* para regularizar el contacto eléctrico aumentando la resistencia entre el metal y la piel.

Las ventosas deben asegurarse con firmeza, pero que no lleguen a dejar señales o «moratones circulares» al retirarlas. En caso de adherirlas muy flojas, con frecuencia se corre el riesgo de que se desprendan interrumpiendo el paso de corriente, que, aunque solamente sea un electrodo, afecta a toda la aplicación si la interferencia se genera dentro del paciente.

Las esponjas deben mantenerse bien humedecidas, pero no tanto como para que la fuerza de succión extraiga de ellas cantidades importantes de agua. En caso de que así suceda, los equipos poseen su sistema de filtro para separar el agua del aire, con el fin de evi-

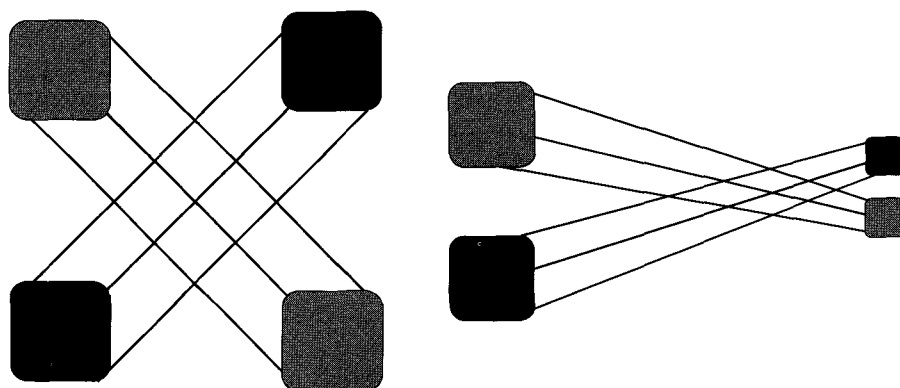


Figura XII.27.

tar daños al circuito eléctrico. Los manómetros suelen indicar una zona de presión considerada como buena.

Dependiendo de que el estimulador trabaje en tensión constante (VC) o en intensidad constante (CC), es interesante pararse a observar en cualquier aplicación las siguientes circunstancias:

- En (VC), cuanto más humedecidas estén las esponjas, antes se conseguirán los efectos y no será necesario subir excesivamente la intensidad, además de permitir el traslado de electrodos sin bajar la intensidad. **Con (CC) no se deben retirar los electrodos sin bajar la intensidad.**
- Con (VC), cuanto mayor humedad de esponjas y más presión en la succión, más ascienden las agujas o valores indicadores de intensidad, al contrario ocurriría si trabajásemos en (CC).
- En (VC), si la succión es alternativa, las agujas indicadoras de intensidad oscilarán al mismo ritmo, de forma que a mayor succión, mayor desplazamiento. Pero en (CC) las agujas no oscilan, aunque el paciente siente disminución de la corriente cuando aumenta la succión, por bajada en el voltaje.
- En (VC) si la succión es fija, la intensidad no varía, incluso, irá aumentando muy lentamente. En (CC), la intensidad se mantiene, pero el voltaje puede cambiar si la resistencia de los electrodos cambia. En intensidad o corriente constante (CC), al disminuir la resistencia, baja el voltaje y, por consiguiente, también baja la potencia o energía absorbida por el organismo.
- En (CC), tenderemos a usar electrodos convencionales. En (VC), es preferible usar los de ventosa.

Las ventosas suelen presentarse en tres tamaños diferentes, de acuerdo a la extensión o zona corporal. Se tenderán a usar los mismos tamaños y a no mezclar grandes con pequeñas en la misma aplicación, a no ser que el proyecto de tratamiento u objetivos así nos lo exijan.

Los equipos suelen disponer en su utillaje básico de un aplicador *local*, de alrededor de 8 x 8 cm (Fig. XII. 28), en el que se implantan los cuatro electrodos de 1 ó 2 cm<sup>2</sup>, separados entre sí unos pocos centímetros o, de una ventosa que contiene los cuatro electrodos, con

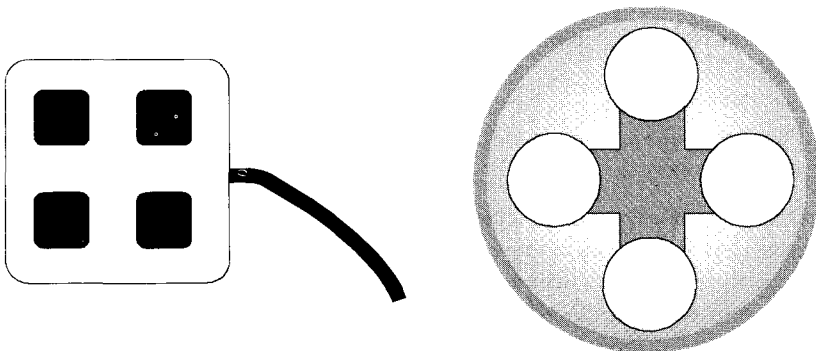


Figura XII.28.

el fin de producir la interferencia localizada en una pequeña zona corporal para estimular puntos dolorosos localizados, puntos reflejos, puntos gatillo o puntos de acupuntura. El uso de estos electrodos obliga a practicar aplicaciones tetrapolares con interferencia sobre el paciente.

También es importante disponer de un electrodo puntual (Fig. XII. 29) para aplicarlo en puntos concretos buscando analgesia, puntos motores (musculares y nerviosos), puntos de acupuntura, para explorar niveles de sensibilidad al dolor en las distintas zonas que soportan patología, etc. Las aplicaciones con este electrodo siempre exigen aplicaciones bipolares y que la modulación se genere dentro del aparato.

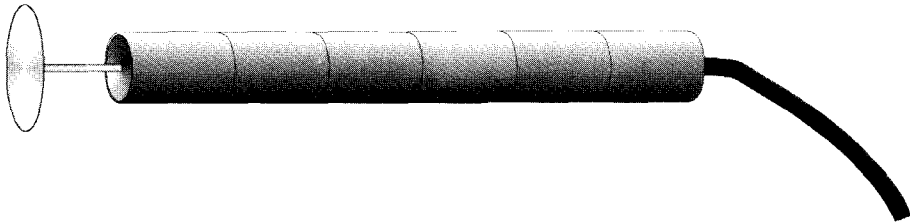


Figura XII.29.

Los electrodos autoadhesivos no son adecuados en estas corrientes cuando se regula el modo de trabajo en (V). Tampoco son adecuados para provocar respuestas motoras intensas, dada su superficialidad, circunstancia solucionable si se reafirman con cinchas.

## Efecto de vector cambiante

En las interferenciales clásicas, con aplicaciones tetrapolares, se produce un fenómeno por el que la zona de modulación al 100% se genera siempre en el mismo lugar. Pero, en muchas ocasiones, interesa justo lo contrario, es decir, que la zona de interferencia dentro del organismo se mueva constantemente por el campo de tratamiento o se mantenga según la hayamos fijado.

Esta circunstancia se consigue con la propiedad que presentan algunos equipos para activar esta función de *vector* o **movilidad de la zona de máxima modulación**.

Es habitual encontrarse con distintos sistemas de modulación, tales como vector giratorio o circular, vector isoplanar, vector coplanar, etc. Tampoco existe unanimidad en este campo entre fabricantes e, incluso, no incluyen esta posibilidad, pues la tendencia es a que la media frecuencia se aplique más con modulación dentro del equipo (bipolar) que dentro del paciente (tetrapolar).

Para aplicar estos fenómenos o vectores, electrónicamente se consiguen retrasando o desfasando un circuito sobre el otro, generar un constante balance alternativo de forma automática entre ambos canales, alternar constantemente la modulación que se genera en el interior del organismo con la modulación en el equipo y diversidad de ingenios electrónicos para alcanzar dicho fenómeno. *En alguna ocasión, los publicitados efectos «vector» no se han encontrado después de someter al equipo a las pruebas electrónicas correspondientes.*

## Efectos sobre los tejidos vivos

Aplicada la media frecuencia al organismo humano, los 4.000 Hz de portadora alterna sin polaridad eléctrica, no parecen tener efectos de importancia (al menos, se ha venido diciendo así hasta hace poco), pero se están poniendo en el mercado equipos de media frecuencia con corrientes de este tipo, a las que sí se les atribuyen efectos fisiológicos propios de analgesia o *pseudoanestesia*.

Por otra parte, dada la disminución de impedancia que la piel y otros tejidos presentan a esta banda de frecuencia, podemos aplicar bastante *potencia energética*, lo que lleva implícito una cierta transformación de energía eléctrica en térmica por el efecto Joule, energía calórica que puede desencadenar suaves fenómenos fisiológicos de aumento metabólico, vasodilatación, licuefacción del ambiente intersticial y mejora del trofismo, aun en el caso de que el paciente no manifieste sensación de calor por no alcanzar a estimular el umbral de los termorreceptores.

Volviendo al hilo conductor de la media frecuencia modulada o interferenciales clásicas, los efectos fisiológicos atribuidos a estas corrientes vienen dados por las modulaciones en baja frecuencia sobre los tejidos en los que actúan.

Si a la baja frecuencia le hemos atribuido las funciones básicas de:

- efectos electroforéticos y electrolíticos (componente galvánico);
- efectos sensitivos y
- efectos motores.

A las modulaciones de baja frecuencia procedente de la portadora de media frecuencia le seguiremos atribuyendo:

- efectos sensitivos;
- efectos motores y
- efectos energéticos.

*Se pierde el componente galvánico, a no ser que intercalemos a la salida el circuito electrónico, que elimina la parte negativa de la portadora o de las modulaciones.*

## TEJIDOS EN LOS QUE ACTÚA

- fibra muscular estriada;
- fibra muscular lisa;
- vasos sanguíneos y linfáticos;
- intestinos;
- otros conductos y esfínteres con capacidad contráctil;
- tejido conjuntivo;
- articulaciones;
- tejido nervioso;
- disoluciones orgánicas;
- piel.

## Efectos sobre el músculo estriado

Hemos visto que la fibra muscular presenta la capacidad de responder motoramente cuando provocamos cambios eléctricos en su ambiente biológico. Ver capítulos X y XI.

Las modulaciones o pulsos de la media frecuencia clásica están formadas por impulsos sinusoidales de doble amplitud (positiva y negativa simultáneamente); circunstancia que provoca en la membrana de las fibras musculares alteraciones en su nivel de polarización, ocasionando respuesta motora.

Lógicamente, los mejores impulsos para despolarizar la membrana de la fibra muscular son impulsos de subida rápida (modulaciones cuadrangulares). Los empleados en la interferencia clásica son de subida y bajada progresiva (sinusoidales) con menos capacidad de despolarización (Fig. XII. 30). Sin embargo, suplen esta dificultad con la intensa alteración eléctrica de la zona. Además, las modulaciones sinusoidales no permiten reposo adecuado, sí concedido por las modulaciones cuadrangulares. Son reposos que se adaptan a la fisiología de la membrana por respetar los períodos refractarios.

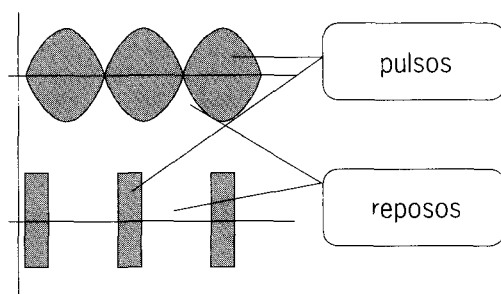


Figura XII. 50.

En la modulación cuadrangular, algunos equipos ofrecen la posibilidad de regular o ajustar una razón aritmética entre el tiempo ocupado por el pulso y el reposo. Así, podemos encontrar las razones de 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:6, etc. La razón de 1:4 es muy adecuada. Otros fabricantes regulan la razón entre pulso y reposo dando un tiempo al pulso en ms y recibiendo el reposo el resto (en ms) hasta completar el tiempo del período correspondiente a la frecuencia ajustada.

Cuando las modulaciones o interferenciales superan el umbral motor de la fibra estriada, las respuestas motoras se ven influenciadas por diversos parámetros, los cuales conviene conocer y dominar para conseguir el máximo control a fin de eliminar fenómenos no deseados.

- Si las frecuencias son bajas (hasta 10 Hz) la contracción es vibratoria.
- A partir de 10 Hz la contracción se va convirtiendo en mantenida y puede alcanzar su máxima intensidad entre los 80 y 130 Hz.
- Cuando la interferencia es generada dentro de los tejidos, la zona de mayor efecto no es precisa. Para evitarlo, se genera dentro del equipo y se practican aplicaciones *bipolares* con circuitos separados y la modulación bien dirigida y al 100%.



- Si mantenemos un barrido sin pasar por las frecuencias más bajas, la musculatura no entrará en relajación (circunstancia a evitar disminuyendo la intensidad).
- Si la succión es alterna, notaremos aumentos y disminuciones de la contracción. Para evitar esta oscilación, conmutaremos a succión *fija* (sin alternancias).

***Para trabajar con la adecuada precisión y evitar que un método nos altere los resultados buscados, debemos conocer bien todas las posibilidades de manejo y determinados fenómenos eléctricos.***

Si nos hallamos ante parálisis periféricas, acudiremos a las modulaciones triangulares aisladas; si el equipo no dispone de ellas, usaremos pulsos triangulares de baja frecuencia. Y, tal vez, si insistimos en la aplicación de media frecuencia para parálisis, seleccionaremos frecuencia fija a 1 Hz y modulación sinusoidal. Ante la musculatura sana, debemos aplicar trenes si el objetivo es trabajo para tonificación o potenciación.

#### BARRIDOS 0 A 10 HZ DE CONTORNO TRIANGULAR

Si aplicamos el barrido de 0 a 10 Hz y superamos el umbral motor, observaremos cómo las contracciones van seguidas de relajaciones, aumentando y disminuyendo de velocidad, haciendo que sean rítmicas y vibratorias; es una situación que induce relajación en las contracturas. Si pretendemos dicha vibración muscular, nos dará mejores resultados eliminar el barrido y aplicar una frecuencia fija de 2, 3, 4, 5 ó 6 Hz, de acuerdo con la información que nos aporte el paciente como frecuencia más agradable y relajante.

#### BARRIDOS 0 A 100 HZ DE CONTORNO TRIANGULAR

Superando la respuesta motora, provocan contracciones que pasan de vibración a contracción mantenida y más intensa, para volver a la vibración, más un instante de relajación cuando el barrido pasa por cero y vuelve a iniciar el ciclo. Esto produce mejora del tono muscular, regularización del tono y efecto semejante al «*estrujamiento de esponja*» sobre los líquidos contenidos en el músculo, sean linfáticos, intersticiales o sanguíneos.

Mediante el contorno cuadrangular o el trapezoidal, podemos matizar el efecto *esponja*. Sería interesante aplicar un contorno cuadrangular sobre un barrido de 2 a 60 Hz, de manera que durante 10 segundos se mantenga en 2 Hz y pase, bruscamente, a 60 Hz durante otros 10 sg.

Esta circunstancia consigue que los músculos afectos vibren durante 10 segundos, para pasar bruscamente a una contracción importante que los exprimiría otros 10 segundos, volverían a vibrar y a contraerse. Esta forma no fatiga al músculo. Si parece excesivamente brusco el cambio, podemos atenuarlo eligiendo contorno trapezoidal con un barrido intermedio entre 2 y 60 Hz.

Apreciamos ahora las posibilidades que nos permiten estos equipos para adaptarse a diferentes teorías de potenciación muscular, relajación muscular, analgesia, etcétera.

## BARRIDOS 80 A 100 HZ DE CONTORNO TRIANGULAR

Si superamos el umbral motor, la contracción muscular será mantenida durante toda la sesión, sin dar opción al músculo a pasar por momentos de relajación. Esta forma de aplicación hay que evitarla para impedir, cuando menos, posibles fatigas musculares, tetanias o calambres. Para ello, la aplicación *no debe superar el umbral motor*, quedándose solamente por encima del sensitivo. ***El barrido de 80 a 100 Hz es excelente para potenciación muscular de la fibra rápida, pero siempre que su contorno sea en trenes que permitan descansos en el trabajo muscular.***

Las frecuencias de mejor respuesta contráctil de fibra estriada dependen en parte de que el músculo sea lento o rápido. Esta frecuencia oscila entre 60 y 130 Hz. Las frecuencias superiores a 130 Hz siguen manteniendo efecto motor, pero se usarán mejor para estímulos sensitivos, ya que en motores invaden excesivamente el período refractario de la membrana.

Si colocamos los electrodos longitudinalmente al músculo en aplicación bipolar, obtendremos mejores respuestas que si la interferencia se produce en zonas musculares poco concretas por aplicación tetrapolar. Según esto, lo haremos de forma que la modulación se realice dentro del aparato para disponer de mayor movilidad con los electrodos, modulación al 100% y elección indistinta de un circuito, del otro o de ambos.

Un buen ejemplo de lo dicho podemos experimentarlo cuando deseemos que la musculatura paravertebral responda contrayéndose:

- lo podemos intentar colocando los *cuatro* electrodos de forma cruzada e interferencia en los tejidos (Fig. XII. 31 A), y
- los cuatro electrodos en los mismos lugares, *dos a dos* sin cruzar, con interferencia dentro del aparato. Cada circuito en sentido longitudinal a la masa muscular (Fig. XII. 31 B).

Una vez aplicado el mismo tipo de corriente e intensidad en ambos casos, veremos cómo en el segundo ejemplo la respuesta contráctil es mucho más clara y definida que en el primero, sin embargo, en el primer intento costó mucho conseguirla.

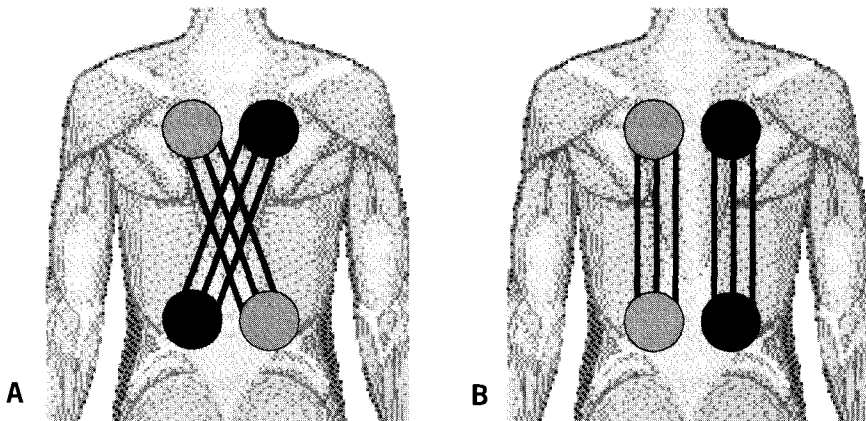


Figura XII.51.

Resumiendo, el estímulo de la fibra estriada, normalmente, irá destinado a relajación o a trabajo muscular, el cual, preferentemente, se realizará con frecuencias fijas de 2 a 6 Hz y trenes de frecuencias fijas comprendidas entre 50 y 100 Hz, respectivamente.

## Efectos sobre el músculo liso

La musculatura lisa es de respuesta mecánica, mucho más lenta que la estriada; y su forma de trabajo es distinta:

- a) El músculo estriado está dispuesto en sentido longitudinal y fibras paralelas y enlazadas entre si.
- b) El músculo liso se encuentra dispuesto en forma circular y transversa a lo largo de los distintos conductos y esfínteres, realizando su trabajo de manera que las fibras contraídas inducen contracción a las siguientes y relajación a las anteriores, dando lugar a «olas de contracción» que avanzan por el órgano tubular correspondiente, dejando pausas de relajación (*pausas que debemos respetar*).

No toda la musculatura de esfínteres es lisa. Los esfínteres de control voluntario son de fibra estriada.

Si invadimos amplias zonas corporales con corrientes moduladas a baja frecuencia, en caso de respuesta motora de fibra lisa, contraeremos gran parte de ellas simultáneamente en el órgano estimulado eléctricamente, causándoles tetanización y, tal vez, impidiendo su peristaltismo propio bien coordinado, situación poco adecuada o contraindicada.

Cuando las frecuencias son altas (alrededor de 80 ó 100 Hz), las fibras lisas dejan de ser excitadas, perdiendo estas frecuencias la capacidad de excitomotricidad sobre músculos lisos.

La intensidad para lograr respuesta motora de la musculatura lisa es relativamente baja y las frecuencias adecuadas se encuentran en la banda más baja, de forma que, si aplicamos frecuencias próximas a 100 Hz, no responderán con facilidad. El exceso de intensidad, más que provocar contracciones, inducirá tetanizaciones.

Tal vez, por la vía de estimular las terminaciones nerviosas de la sensibilidad superficial con intensidades muy bajas, consigamos respuestas reflejas de la musculatura lisa de la zona (según el reflejo cutivisceral).

## BARRIDOS DE 0 A 10 HZ DE CONTORNO TRIANGULAR

Se producen contracciones mantenidas de vasos sanguíneos, no tanto de los linfáticos, que son mucho más lentos. Esta banda de frecuencias los mantiene constantemente contraídos debido a la lentitud de repolarización de membrana, pues, si para la fibra estriada la repolarización es de 20 ms, para la fibra lisa puede oscilar desde 100 a 1.000 ms.

Para evitar que los vasos linfáticos se mantengan trabajando sin períodos de relajación, activaremos un sistema de vector o el selector de cambio alternativo de circuito (*dinámica*), activándose una zona mientras la otra descansa unos segundos.

Una técnica muy interesante que puede resultar más apropiada consiste en aplicar un electrodo tipo manopla, de forma que éste se deslice por la zona avanzando de distal a proximal en pasadas de 2 a 6 sg, para que las respuestas motoras de los vasos sanguíneos y linfáticos se generen en esa dirección y cadencia (Fig. XII. 32).

Si el equipo está ajustado en (VC), el electrodo podrá levantarse, pero si se eligió la modalidad de (CC), se pondrá especial cuidado en no perder el contacto. El circuito se cerrará con otro electrodo convencional y así formar una aplicación bipolar.

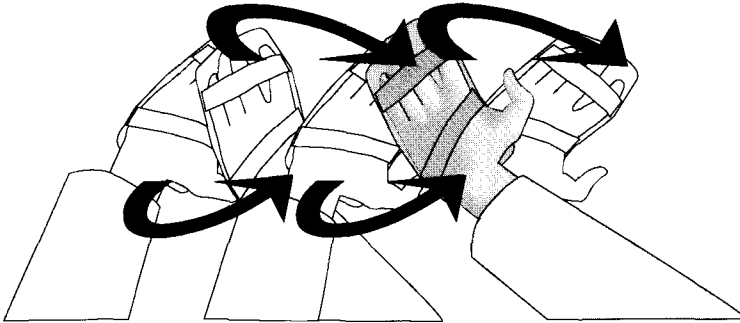


Figura XII.52.

#### BARRIDOS DE 0 A 100 HZ DE CONTORNO TRIANGULAR

Debemos elevar la intensidad hasta conseguir claramente la respuesta motora de fibra estriada. Clásicamente, se ha considerado que este barrido es el mejor como efecto anti-edema, seguramente debido a que:

- 1) las frecuencias más bajas contraen y acentúan la evacuación de los sistemas vasculares (*tonificándolo y mejorando su motricidad*);
- 2) las cercanas a 100, por contraer los músculos estriados, ponen en movimiento los líquidos en ellos contenidos (*bombeo pasivo por efecto esponja*);
- 3) los líquidos bombeados son recogidos y eliminados por la aceleración de la evacuación sanguínea y linfática al volver a las frecuencias más bajas (*bombeo activo de la pared vascular y linfática*). Ciclo que se repite durante la sesión o serie de un posible programa de tratamiento.

#### BARRIDOS DE 80 A 100 HZ, 150, 200 Ó 250 HZ DE CONTORNO TRIANGULAR

No parece que estas frecuencias afecten a la musculatura lisa directamente, es posible que sí lo consigan por vía refleja al actuar sobre las terminaciones sensitivas superficiales. Por ello, la intensidad debe permanecer por debajo del umbral motor.

#### BARRIDOS DE 1 A 50 HZ DE CONTORNO CUADRANGULAR

Ajustemos barridos cuadrangulares de forma que durante unos 5 sg se mantenga en 1 Hz, pase bruscamente a 50 Hz durante otros 5 sg para volver de nuevo a 1 Hz y, así, repeti-

damente. La intensidad será suficiente como para generar respuestas motoras importantes. Con estos ajustes, estaremos consiguiendo dos efectos distintos:

- 1) con 1 Hz, los músculos entran en una lenta vibración que moviliza y exprime los líquidos contenidos y próximos. Además, los vasos sanguíneos y linfáticos pueden ser contraídos directamente generando un bombeo activo;
- 2) durante los 5 sg de 50 Hz, el músculo estriado entra en fuerte contracción de su fibra estriada, para exprimir los líquidos contenidos en su interior. La fibra lisa entra en reposo por exceso de frecuencia, esperando a que, al volver a 1 Hz, el músculo estriado se relaje y los líquidos movilizados se bombeen.

## Efectos sobre el tejido conjuntivo

El tejido conjuntivo se encuentra diseminado por todo el organismo formando:

- tendones;
- fascias;
- ligamentos;
- cápsulas articulares;
- sinoviales;
- cicatrices;
- fibras de colágeno en general, con sus especificidades de:
  - fijación de plexos;
  - apertura y cierre de válvulas en vasos linfáticos y venosos;
  - nódulos de concentración de fibrina para englobar y aislar procesos patológicos localizados (*fibrosis*);
  - fibrillas de adherencia en procesos traumáticos y degenerativos;
  - fibrillas de fijación y unión entre piel y planos más profundos (su exceso y pérdida de elasticidad genera la *celulitis*), etcétera.

El tejido conjuntivo debe encontrarse:

- en su proporción adecuada;
- convenientemente elástico y deformable;
- liberado de otros tejidos vecinos;
- bien irrigado, nutrido e hidratado, y
- en medios orgánicos fluidos, que no empastados o coagulados.

Cuando el tejido conjuntivo pierde su normalidad, da problemas de:

- rigidez articular en general;
- estrangulamiento circulatorio y nervioso;
- pérdida de elasticidad corporal;

- invasión de otros tejidos;
- zonas de fibrosis dolorosas;
- acortamientos y atrapamientos musculares;
- estrangulamientos y descuelgue de órganos o vísceras y
- posibles influencias sobre el sistema inmunitario.

Debido a que la fibra del tejido conjuntivo no es contráctil, pero presenta la propiedad de alargarse si es mantenida bajo tensión durante un tiempo, ello es debido a su comportamiento viscoelástico, con las modulaciones de media frecuencia vamos a influir en este tejido indirectamente a través de las contracciones y tensiones musculares, causando así (al referido tejido):

- movilizaciones vibratorias;
- tracciones intensas y alternas o
- tracciones mantenidas durante un tiempo.

con el objetivo de liberar y elastificar las fibras, tratando de luchar contra las alteraciones antes enumeradas.

#### BARRIDOS DE 0 A 10 HZ DE CONTORNO TRIANGULAR O FRECUENCIA FIJA ENTRE 1 Y 6 HZ

Al contraer los músculos de forma rítmica y vibratoria, transmitimos a los tendones, cápsulas, ligamentos, fascias, cicatrices, etc. deformaciones repetitivas en distintos sentidos que tienden a dar elasticidad, desplazamiento entre planos tisulares y liberación del medio intersticial.

#### BARRIDOS DE 1 A 50 HZ DE CONTORNO CUADRANGULAR

Si ajustamos barridos cuadrangulares de forma que durante unos 10 sg se mantenga en 1 Hz y pase bruscamente a 50 Hz durante otros 10 sg, para volver de nuevo a 1 Hz de forma repetitiva (la intensidad suficiente como para generar respuestas motoras importantes), estamos consiguiendo dos efectos distintos:

- 1) con 1 Hz, los músculos entran en una lenta vibración que moviliza todas las fibras de colágeno afectas por las tensiones musculares para desbridarlas y elastificarlas.
- 2) durante los 10 sg de 50 Hz, el músculo estriado entra en fuerte contracción de su fibra estriada para mantener tenso al tejido conjuntivo afecto, a fin de elongarlo y liberar articulaciones junto con otros tejidos. Al volver a 1 Hz, el músculo estriado descansa y se relaja pero mantiene las tensiones alternativas sobre el colágeno.

Si aplicamos la media frecuencia modulada en el equipo (media frecuencia bipolar) con alternancia de circuitos, añadimos un efecto muy interesante sobre el sistema linfático a través de las tensiones musculares aplicadas a las fibras de colágeno, que tensan las valvas

de los vasos colectores linfáticos, tensionadas alternativamente en sentidos opuestos (Fig. XII. 33). Cuando estas valvas se ven forzadas a su deformación y apertura, admitirán linfa de la proximidad, pero al cambiar las tensiones, la valva se cierra y la linfa será forzada a circular.



Figura XII.33.

Si el líquido intersticial se encuentra retenido, coagulado, atrapado en la red de colágeno, etc., la zona se verá sometida a tensión y rigidez, situación que puede aliviarse por el doble camino de eliminar los líquidos retenidos y la elastificación del colágeno que las contiene.

Si la aplicación es con interferencia externa al organismo y dinámica (producida dentro del aparato y alternando el trabajo de los circuitos), se puede conseguir tracción en dos sentidos distintos alternativamente. Un buen ejemplo puede ser el hombro congelado o retráctil para dar elasticidad a los tejidos periarticulares que se encuentran inflamados, retraídos y más o menos adheridos entre sí o a sus tejidos vecinos (Fig. XII. 34), así como

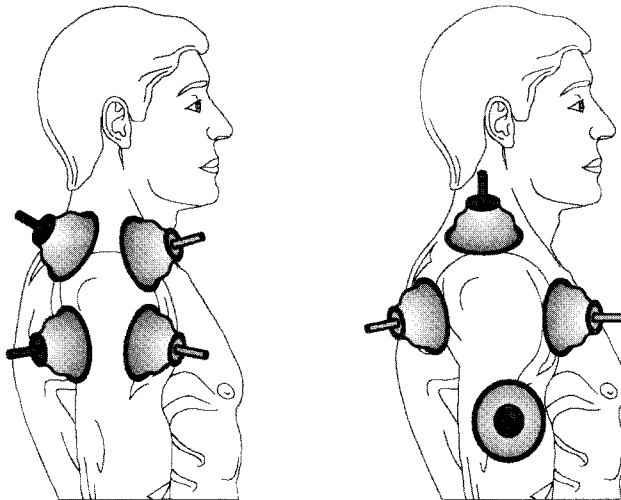


Figura XII.34.

la eliminación de posibles derrames articulares. Para ello, haremos que alternativamente trabajen el circuito anterior seguido del posterior, o también, el circuito anteroposterior seguido del craneocaudal en la hemicintura escapular tratada.

## Efecto sobre las articulaciones

Este epígrafe es continuación del anterior, pues será el trabajo muscular el que genere movilidad articular al traccionar los tendones y cápsulas.

Los líquidos contenidos dentro de la articulación se verán sometidos a movilización repetitiva, los cartílagos a presiones alternativas, las cápsulas a pequeñas deformaciones y la articulación a desplazamientos íntimos de mayor o menor amplitud (según la intensidad de la corriente y tamaño de la articulación). Esto tendrá consecuencias para evitar:

- adherencias y sedimentación de la fibrina en el líquido sinovial;
- mejora nutricional del cartílago;
- licuación del derrame y su más fácil reabsorción;
- liberación de edemas capsulares;
- estimulación propioceptiva y
- *analgesia* por desencadenar estímulos aferentes de los mecanorreceptores articulares de tipo I y II, los cuales poseen un componente inhibitor sobre el dolor conducido por las fibras de tipo C.

En la modalidad representada en la figura XII. 35 A, se aplica media frecuencia bipolar con 1 o los 2 circuitos; en el caso B, la interferencia se conseguirá dentro del organismo.

La opción A implica pensar en los músculos que influyen en la articulación (Fig. XII. 35 A); más que en la influencia directa de la corriente sobre la articulación (Fig. XII. 35 B), pero si aplicamos la corriente para que invada la articulación sin consecuencias de micro-movilidad articular y sin elasticidad en sus tejidos blandos, los efectos serán mucho más limitados, aprovechando únicamente los de estímulo sensitivo, estímulo propioceptivo y transformación de la corriente en energía térmica (ver epígrafes referentes a los efectos sobre el tejido conjuntivo y los efectos sobre las disoluciones orgánicas).

No podemos olvidar la influencia en la liberación de movilidad articular, unas veces por adherencias de los tejidos blandos que impiden su recorrido y, otras veces, por vía del trabajo muscular movilizaremos de forma intensa e intrínseca las articulaciones.

Es muy frecuente encontrarnos una rodilla limitada por las adherencias del cuádriceps, de forma que las tensiones pasivas aplicadas desde la rodilla no son suficientes. Pero, si conseguimos que dicho músculo se contraiga de forma intensa y global, él mismo generará microarrancamientos que, sumados, conseguirán una liberación considerable.

Para liberar un cuádriceps de sus adherencias, regularemos el estimulador con frecuencia de portadora próxima a los 10.000 Hz (se van a requerir intensidades altas). Interferencia dentro del equipo o aplicación bipolar con uno o ambos circuitos. Modulación *cua-drangular* en frecuencia fija entre 50 y 80 Hz o un barrido de 50 a 80 con contorno de tren.



Los trenes de 5 sg con pausas de otros 5 sg, pues no buscamos contracciones prolongadas, sino que se repitan los cambios de tensión o tracciones fibrilares. Los electrodos situados de forma longitudinal a las fibras musculares (Fig. XII. 36 A) En caso de que los electrodos se sitúen transversalmente (Fig. XII. 36 B), no se alcanzará el suficiente número de fibras en contracción del cuádriceps y, además, se provocarán contracciones de los antagonistas, de los que no se pretendía ese trabajo.

Es muy interesante el efecto vibratorio en la espalda para *micromovilizar* las vértebras, unas con respecto a otras, pues se genera un fuerte estímulo analgésico y relajante siempre que la lesión o estado de agudeza lo permita (Fig. XII. 37).

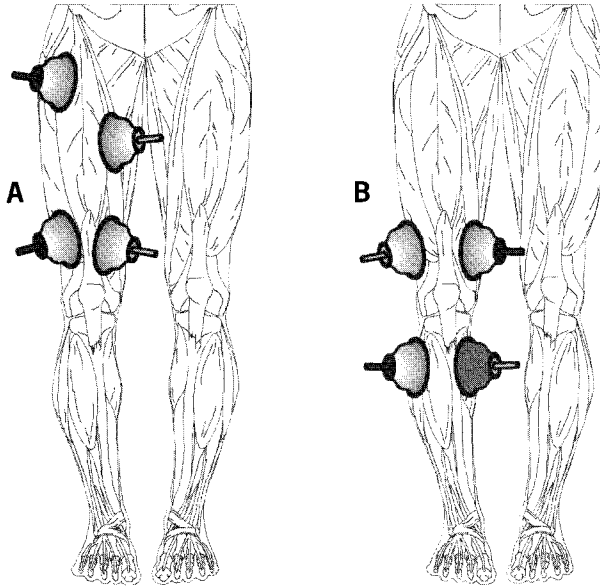


Figura XII.55.

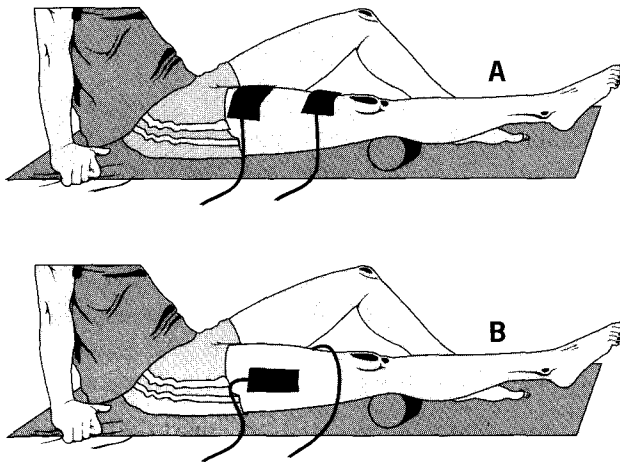


Figura XII.56.

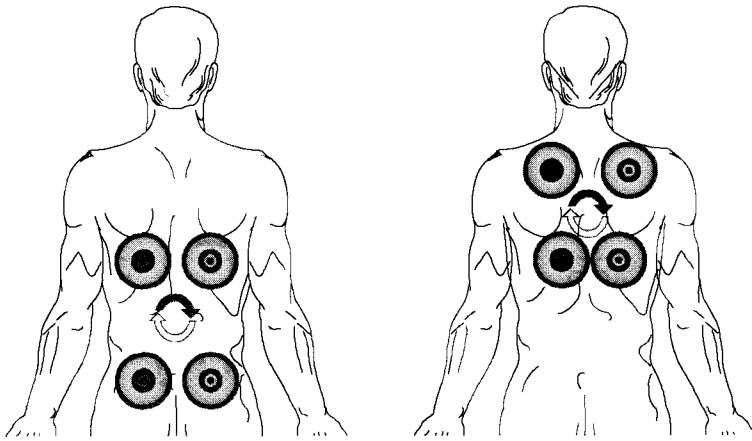


Figura XII.57.

El efecto se basa en la estimulación de los mecanorreceptores de tipo I y II que inducen analgesia y relajación en la musculatura cercana. El estímulo de dichos mecanorreceptores se consigue movilizándolo a las cápsulas articulares al ritmo de 1 a 6 veces por segundo (**cada zona y cada paciente requiere su frecuencia**). Estos mecanorreceptores estimulan la secreción de neurotransmisores que inhiben la conducción y transmisión del dolor (las mal llamadas endorfinas).

Se puede regular el estimulador en frecuencia fija ajustada entre 1 y 6 Hz (la más relajante para el paciente), con modulación *cuadrangular* y modulación dentro del aparato. Aplicación bipolar alternando los circuitos.

## Efectos sobre el tejido nervioso

La fibra nerviosa, en este caso, recibe ondas *moduladas en amplitud*, las cuales estimulan al nervio motor y sensitivo. Podemos asegurar que, siempre que se manifieste sensación de calambre porque una corriente nos invade, podremos afirmar que está despolarizando nuestras terminaciones nerviosas sensitivas.

Los equipos de media frecuencia de última generación extienden su banda de interferencia o modulación hasta los 250 Hz, teniendo en cuenta que las fibras sensitivas superficiales son de conducción rápida y, por consiguiente, admiten perfectamente frecuencias por encima de los 100 Hz máximos en los viejos equipos.

Cuando pensemos en estimular el sistema sensitivo, podemos elevar la frecuencia de modulación perfectamente por encima de los 100 Hz. Pero si buscamos estímulo en nervio motor, no superaremos los 100 Hz. Asimismo, para estímulos motores elegiremos contornos de trenes preferentemente. Para estímulos sensitivos, puede mantenerse la corriente más o menos indefinidamente, pero introduciendo variantes o barridos triangulares y trapezoidales.

Por lo que se refiere a respuestas neurovegetativas y motoras musculares (vía excitación nerviosa) se ponen de manifiesto cuando estimulamos preferentemente zonas de los plexos nerviosos, pudiéndose observar cómo el resto del miembro manifiesta respuestas de

contracción muscular y vegetativa. Por ejemplo: si colocamos una aplicación, bipolar o tetrapolar, sobre los orígenes del plexo cervicobraquial, apreciaremos respuestas sensitivas (adormecimiento), motoras (aumento del tono muscular) y vegetativas (cambios de color y sudoración) en el miembro superior correspondiente. Lo mismo suele acontecer en los miembros inferiores si estimulamos el plexo lumbosacro.

*Si únicamente buscamos efectos sensitivos, nunca deberemos olvidar el control de las respuestas a cierta distancia del punto de aplicación y de la intensidad recibida por el paciente, dado que pueden provocar calambres musculares, hipertonicidad mantenida o, incluso, zonas de ciertas hiperestesias, ya que, cuando menos, serán desagradables para el paciente.*

La media frecuencia modulada en baja origina corrientes que cada vez se utilizan más para el trabajo muscular, estimulando en *puntos motores nerviosos*. Para ello se programarán:

- modulación (preferiblemente cuadrangular) en frecuencia fija o en barridos que oscilen en las cercanías de 80 Hz (70 a 100);
- con interferencia conseguida dentro del aparato;
- contorno de *trenes* regulados automáticamente o mediante aplicación intencionada y
- aplicación bipolar.

Es muy habitual aplicar media frecuencia en la espalda, zona donde se hallan los grandes ganglios nerviosos del *neurovegetativo*, encontrándonos con personas que manifiestan importantes reacciones de tipo general o respuestas a cierta distancia de la zona tratada, las cuales hacen comentar al paciente sobre el empeoramiento de su proceso, *malestar general* o dolores nuevos debidos a la aplicación de estas corrientes.

Precaución con las *suprarrenales*, pues dado que estas corrientes presentan un fuerte poder de penetración, influyen con cierta facilidad a éstas glándulas, desencadenando la secreción de adrenalina y noradrenalina que provocarán respuestas neurovegetativas generalizadas (respuestas típicas del simpático).

## BARRIDOS DE 80 A 100 HZ DE CONTORNO TRIANGULAR

Parece tener su máximo poder de analgesia sobre dolores agudos e incapacitantes por actitudes de defensa muscular. Recordemos que no debe superarse el umbral motor (pues no es buscado), ya que si provocamos contracciones en un estado muscular de defensa intenso, acentuaremos más el dolor.

Por ejemplo, para tratar una ciática aguda, podemos aplicar la banda de 80 a 100 Hz con interferencia dentro del organismo, para alcanzar profundidad, y los electrodos situados longitudinalmente al trayecto nervioso (figura XII. 38 A en ciáticas con irradiación a muslo y figura XII. 38 B para las que descienden hasta pierna y pie). Evitaremos que provoquen respuesta motora regulando intensidades que se irán subiendo progresivamente durante la sesión, a la par que el paciente se acostumbra, pero evitando respuesta motora mantenida.

En las ciáticas crónicas podemos generar respuestas motoras que hagan vibrar a los músculos contracturados a fin de relajarlos (isquiotibiales en figura XII. 39 A y tríceps en

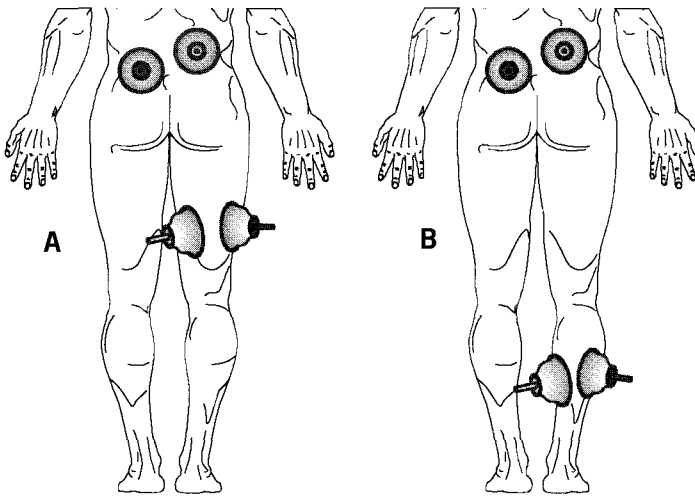


Figura XII.58.

figura XII. 39 B). Para ello, regularemos el estimulador en barridos de 0 a 5 Hz o buscaremos una frecuencia de modulación fija entre 1 y 5 ó 6 Hz (aquella que el paciente sienta como más relajante), la modulación dentro del equipo y aplicaciones bipolares con uno o ambos circuitos. Para conseguir la mejor respuesta motora en este caso, eludiremos los trayectos nerviosos y situaremos los electrodos directamente sobre masas musculares (Fig. XII. 39). La intensidad será suficientemente elevada como para conseguir respuestas musculares relativamente intensas, pero no dolorosas. La modulación es mejor regularla en cuadrangular siempre que busquemos respuestas motoras bien definidas.

*En esta modalidad de aplicación debemos considerar una precaución importante si los barridos o frecuencia fija superan los 10 Hz. A partir de esta frecuencia, el músculo se mantiene contraído y si estas potentes masas musculares entran en contracción sin resistencia pue-*

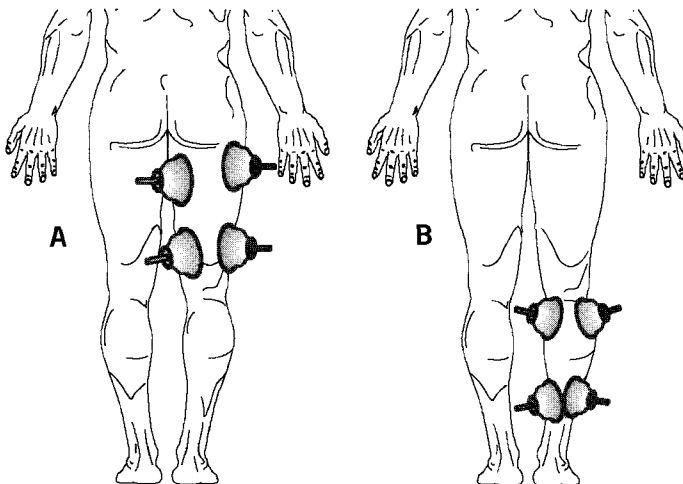


Figura XII.59.

*den tetanizarse o «acalambarse», provocando en el paciente un episodio molesto y doloroso. En el terapeuta, una situación bochornosa.*

## PSEUDOANESTESIA

La aplicación de una corriente portadora con un único canal, de frecuencia comprendida entre 4.000 y 6.000 Hz y modulación cero, consigue efectos de pseudoanestesia sobre la zona. Dicha pseudoanestesia, tal vez, se consiga por invasión del período refractario en la repolarización en la fibra nerviosa, despolarizándola y manteniéndola despolarizada durante un tiempo. De forma que si la sesión se mantiene un mínimo de 10 minutos, la zona aparece con la sensibilidad y otras funciones nerviosas anuladas temporalmente. Cabe aquí la duda sobre si la alteración temporal de la fisiología en la polaridad de la fibra nerviosa es precisamente «correctamente fisiológico».

Este efecto de «adormecimiento nervioso», así expresado por los pacientes, seguramente es el generador del importante componente analgésico en los procesos agudos. Este efecto siempre se mantiene de fondo, aunque no sea tan intenso como si aplicamos un circuito en modulación cero.

## Efectos sobre las disoluciones orgánicas

Por el hecho de no tener polaridad, la media frecuencia seguramente no debe ocasionar efectos electroquímicos ni iónicos dignos de mención semejantes a los galvánicos. Pero, por otra parte, es posible que mejore dicho intercambio a causa de la agitación molecular o electrolítica en las disoluciones orgánicas debido a la invasión de una energía ajena al medio, oponiendo resistencia, que al ser vencida generará pequeñas cantidades de calor, disminuyendo la viscosidad del ambiente electrolítico y provocando una ligera vasodilatación como mecanismo de termorregulación, con sus consiguientes consecuencias fisiológicas para la zona.

## MODULACIÓN 0 HZ

Para conseguir el mayor efecto como aporte energético (buscando la generación de calor intratisular), se pueden situar los electrodos en modalidad bipolar o tetrapolar, pero la modulación será cero y portadora próxima a 10.000 Hz. La modulación a 0 Hz será la que mayor energía eléctrica aporte al medio (Fig. XII. 40), aunque no como respuesta motora y débilmente sensitiva. De todas formas, la energía térmica generada, rara vez, alcanzará a estimular los termorreceptores.

En la figura XII. 40 se representan dos tipos de modulación: la de 0 Hz o 0% de modulación y otra al 100% de modulación en cualquier frecuencia. Si observamos el fondo gris, que quiere representar una energía total, en modulación cero es donde más se ocupa, pero, en otras modulaciones, la proporción de zona gris que resulta libre es mucho más amplia, indicando que el aprovechamiento disminuye de forma radicalmente importante.

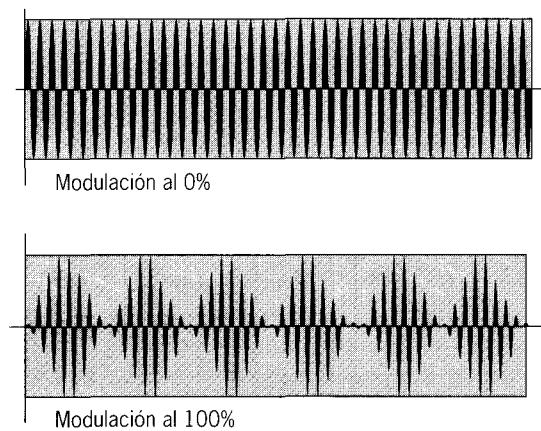


Figura XII.40.

Si buscamos estímulo sensitivo, regulamos la portadora a la más baja posible (2.000 Hz normalmente). Pero, si pretendemos aporte energético, elevaremos la portadora a los valores mayores (10.000 Hz). En 10.000 Hz puede sentirse calor con facilidad, dado que permite aumentar considerablemente la intensidad.

De acuerdo con la física, siempre que circule energía por la materia, parte de ella es absorbida y transformada en otra, según la intensidad, la frecuencia, la impedancia de la materia, etc. Para tratar de averiguar la cantidad de energía transformada, deberemos aplicar la ley de Joule en alguna de sus fórmulas, como puede ser:

$$J = I^2 \cdot Z \cdot t$$

donde,

J = trabajo obtenido;

$I^2$  = el cuadrado de intensidad circulante por la materia;

Z = impedancia de la materia y

t = tiempo en segundos.

***Bajo este punto de vista energético, podríamos hacer extensivos estos efectos a la magnetoterapia y alta frecuencia pulsátil.***

*Ante las corrientes de este tipo, el organismo se comporta predominantemente como un conductor de primer orden: donde no hay cambios químicos, solamente desplazamiento de «vaivén» de cargas eléctricas sin electrólisis. A pesar de ello, si nos encontramos con situaciones de endoprótesis u osteosíntesis metálicas no utilizaremos estas corrientes, pues el aumento del metabolismo y los efectos punta del metal generarán concentraciones eléctricas, que pueden provocar quemaduras y ataques electroquímicos de los iones al metal, habitualmente desencadenantes de reacciones de rechazo.* Debido a que los equipos de media frecuencia suelen trabajar en tensión constante, si entre los tejidos disminuye de forma muy importante la resistencia por la interposición de un metal, la cantidad de energía que se concentra en él aumentará exageradamente.

Un ejemplo de tratamiento buscando la fluidificación y mejora del trofismo, podemos realizarlo en los derrames articulares densos y pastosos que no se reabsorben con facilidad.

Con esta modalidad contribuiremos a su licuación y reabsorción, digamos que en la rodilla (Fig. XII. 41).

Ajustaremos el estimulador a una portadora próxima a los 10.000 Hz, modulación dentro del equipo para utilizar un sólo circuito (Fig. XII. 41A), aunque también pueden usarse los dos y cruzando dentro de los tejidos (Fig. XII. 41B). La modulación fija a 0 Hz y el tiempo de la sesión bastante largo (entre 20 minutos y media hora).

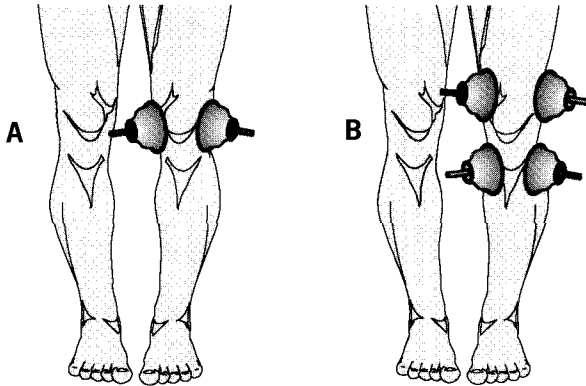


Figura XII.41.

## Efectos sobre la piel

La piel y el resto de los tejidos presentan menos resistencia eléctrica (en este caso, impedancia) ante las frecuencias de la portadora (unos 4.000 Hz de media), por lo tanto, la energía eléctrica se introducirá mejor sin agredirla. Por ser alterna esta corriente no tiene polaridad, tampoco aparecerán los efectos de irritación galvánica en la piel. En los modernos equipos de media frecuencia, se admite la posibilidad de seleccionar la frecuencia de la corriente portadora entre 2.000 y 10.000 Hz. Las frecuencias próximas a 2.000 Hz por sí solas (sin interferencia) poseen efecto sensitivo y ligeramente irritante, pero, según nos acercamos a los 10.000 Hz, no llegan a estimular las terminaciones sensitivas de la piel y, en consecuencia, las molestias subjetivas y reacciones de defensa se reducirán al mínimo.

En muchas ocasiones, es mayor la agresión producida por el mecanismo de succión de las ventosas que por la penetración eléctrica. No suelen darse quemaduras eléctricas en la piel, pero debemos aplicar importantes precauciones cuando existan osteosíntesis o endoprótesis metálicas, debido a la profundidad que alcanza la corriente y las fuertes cargas eléctricas puestas en movimiento, que aunque no producirán quemaduras químicas como en el galvanismo, lo pueden hacer como quemadura calórica en las puntas o bordes de tornillos, clavos, agujas, placas, etc. *No olvidemos que por trabajar en tensión constante (VC), al disminuir la resistencia, aumenta la intensidad circulante, la cual se concentrará en los mejores conductores, provocando daños en los tejidos que se hallan en contacto con el metal. En intensidad constante (CC), debemos usar los electrodos convencionales en lugar de las ventosas.*

Los moratones que podemos encontrar al retirar las ventosas son debidos al exceso de succión y no al paso de corriente. En caso de aplicar la rectificación de alterna a componente galvánico, sí podemos encontrarnos problemas de irritación o quemadura galvánica.

## Otras formas de aplicar media frecuencia

Hay equipos que están dotados de ciertas variantes o posibilidades para hacer diversidad de aplicaciones de interferenciales o media frecuencia, como pueden ser:

- media frecuencia local por electrodos tetrapolares o electrodo puntual;
- mediante electrodos manoplas y con vibrador de masaje;
- combinado con ultrasonidos a través del cabezal de ultrasonidos.

El electrodo de interferencia local o tetrapolar local y el vibrador combinado con media frecuencia generan la interferencia dentro de los tejidos, mientras el resto son aplicaciones bipolares y, por supuesto, con interferencia o modulación fuera de los tejidos.

### MEDIA FRECUENCIA LOCAL

Más arriba ya se ha hecho referencia a tres tipos de electrodos para aplicación local: uno para fijación convencional a modo de una placa cuadrada de goma, de unos 8 cm de lado (Fig. XII. 42A) con la implantación de cuatro electrodos de goma semiconductor en sus respectivas esquinas separados entre sí. El segundo método (Fig. XII. 42B) se basa en lo mismo, pero el sistema de electrodos es acoplado a una ventosa con sus cuatro esponjillas. El tercero (Fig. XII. 42C) consiste en un electrodo puntual y manual para buscar las zonas donde se pretenda estimular durante el tiempo y la movilidad deseados.

Esta distribución está destinada a producir interferencia localizada en un punto o en pequeñas zonas. El objetivo terapéutico será la analgesia en tendinitis, pequeños desgarros tisulares, esguinces, estímulo de puntos gatillo, contracturas de pequeños músculos, etcétera.

Cuando se empleen estos sistemas para analgesia, normalmente aplicaremos modulaciones en frecuencias elevadas (entre 50 y 200 Hz, bien en frecuencias fijas o en barridos), pero sin superar las respuestas motoras. Si se destinan a respuesta motora sobre puntos motores musculares o nerviosos, se aplicarán como vibraciones musculares o con espectro de trenes para trabajo muscular.

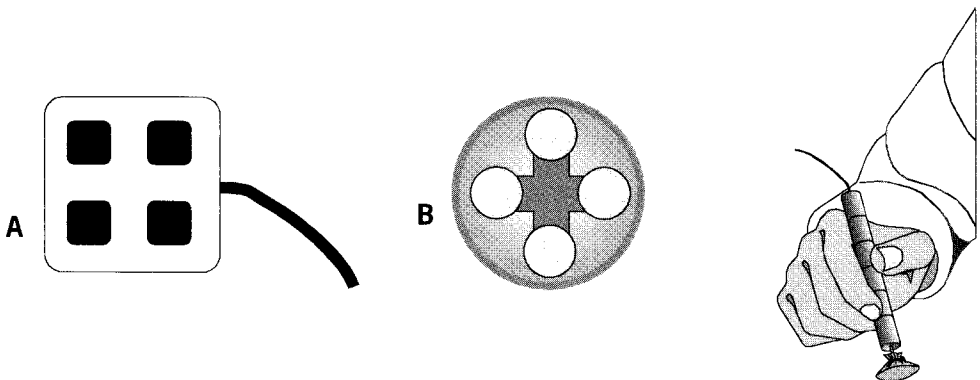


Figura XII.42.



El electrodo puntual ofrece muchas posibilidades:

- para tratamiento de parálisis periféricas con modulaciones triangulares aisladas;
- para localizar puntos motores;
- para estimular puntos gatillo;
- para analgesia de puntos concretos, etcétera.

### MEDIA FRECUENCIA CON ELECTRODOS MANOPLAS Y VIBRADOR DE MASAJE

Algunos equipos de media frecuencia acompañan su instrumental con sendas manoplas electrodos destinadas a ser fijadas bajo las manos del fisioterapeuta a fin de aplicar estas corrientes a la vez que un masaje. Al estar condicionados por el uso de dos electrodos, obliga a que la modulación sea generada dentro del aparato (Fig. XII. 43).

La técnica requiere una maniobra específica en el movimiento y desplazamiento de las manos, con la precaución de mantener siempre en contacto con la piel los dos electrodos evitando los posibles fallos en apertura del circuito. La referida maniobra consiste en avanzar sobre la superficie corporal, de manera que, al despegar los dedos para cambiar el apoyo, se mantiene el talón de la mano girando para permitir un nuevo emplazamiento de los dedos y, una vez apoyados los dedos, se levanta el talón de la mano para buscar un nuevo sitio girando sobre el apoyo de los dedos. Repitiendo sucesivamente esta maniobra con las dos manos, podemos movernos por la zona anatómica deseada. Si el equipo trabaja en (VC), los fallos de contacto no molestarán al paciente; sí, cuando trabaje en (CC).

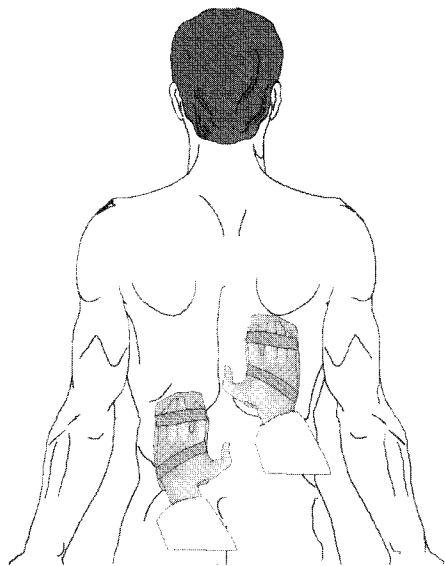


Figura XII.45.

Esta aplicación se practica buscando estímulos de las terminaciones sensitivas superficiales, con el fin de inducir respuestas de motricidad vascular sanguínea y linfática (reforzando el efecto evacuatorio del masaje), por lo que la intensidad es muy suave y la sensación del paciente debe mantenerse en «ligero calambrijo eléctrico».

Para estimular las fibras exteroceptivas rápidas podemos ajustar una frecuencia fija entre 80 y 150 Hz o un barrido con este espectro. Modulación cuadrangular para estimular con mayor eficacia y portadora de 2.000 Hz para provocar mayor respuesta sensitiva.

Podemos intentar vibraciones musculares con una frecuencia fija entre 2 y 6 Hz, modulación sinusoidal y portadora de 4.000 Hz. La intensidad se elevará lo suficiente como para alcanzar respuesta motora considerable. En esta aplicación es posible que nos veamos obligados a evitar ciertos puntos de hipersensibilidad que desencadenarán dolor.

En su momento, hace unos años, proliferaron vibradores de masaje en los que se adosaban cuatro electrodos metálicos en la zona de contacto corporal (Fig. XII. 44), debidamente recubiertos con una gamuza humedecida. La modulación debía realizarse de modo tetrapolar, es decir, sobre el paciente.

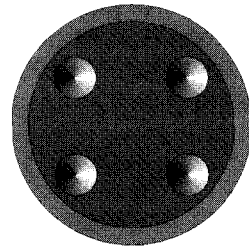


Figura XII.44.

Los objetivos fundamentales se basaban, por un lado, en provocar el estímulo motor de los vasos evacuatorios de la zona (si es que se lograba) que contenían los líquidos movilizados por la vibración mecánica del masaje (Fig. XII. 45). Por otro lado, la sobrecarga de estímulos mecánicos y eléctricos en la zona desencadenan de una forma eficaz la analgesia local por el efecto puerta («gate control»). En los dos casos se pretende que el paciente sienta un estímulo eléctrico superpuesto a la vibración mecánica, lo cual requiere ajustar y elevar la intensidad hasta conseguirlo.

Tanto para el primero como para el segundo objetivo, se puede aplicar una modulación en frecuencia fija entre 80 y 150 Hz o barridos entre ambas frecuencias. Si es posible, se elegirá modulación cuadrangular y portadora próxima a los 2.000 Hz, para alcanzar con eficacia la respuesta sensitiva.

### MEDIA FRECUENCIA COMBINADA CON ULTRASONIDOS

Ver capítulo XV, *Ultrasonidos*, el epígrafe «Tratamiento combinado de ultrasonidos con electroterapia».

Existen equipos con ambas funciones o de electroterapia únicamente (tanto en baja como en media frecuencia), que permiten la interconexión con otro de ultrasonidos, a fin de que el cabezal actúe en doble función: como electrodo y como aplicador ultrasónico. En cuan-

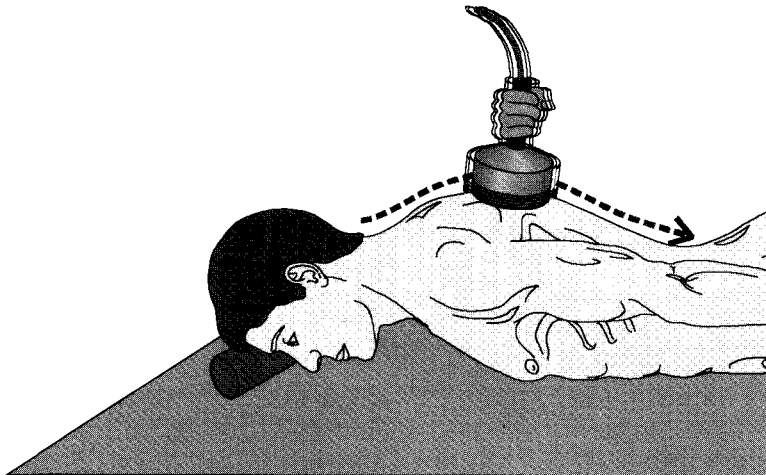


Figura XII.45.

to al cabezal como electrodo, formaría circuito con otro de mayor y convencional a modo de masa, conectado al estimulador eléctrico (Fig. XII. 46). Lógicamente, la aplicación de ultrasonidos y media frecuencia son simultáneos.

En esta ocasión, uno de los dos electrodos es metálico, dado que el cabezal de ultrasonidos no puede ser protegido mediante gamuzas humedecidas que impidan la transmisión sonora. Esto genera riesgos a la hora de posibles molestias o irritaciones eléctricas bajo el cabezal, circunstancia que obliga a moderar la intensidad y extender por la zona de tratamiento el gel conductor de ondas sonoras con más abundancia de lo habitual, tratando de interponer «algo a modo de gamuza» que aumente la resistencia eléctrica entre el metal y la piel. Siempre se regulará el equipo estimulador para que trabaje en (VC), pues ello nos consentirá fallos en el contacto sin molestias para el paciente, aunque, también, puede generar molestias ante excesivo contacto del cabezal sin gel.

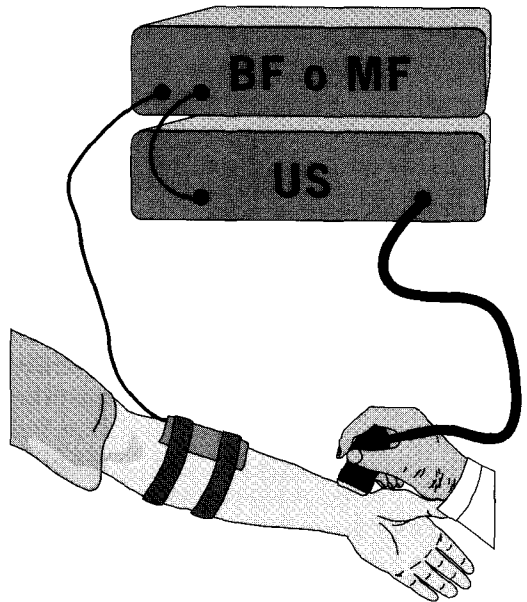


Figura XII.46.

Este tratamiento busca un *triple* efecto:

- **característico de ultrasonidos en primer término;**
- **masaje propio del deslizamiento del cabezal en segundo lugar y, por último;**
- **el de estímulo eléctrico sensitivo o motor.**

Dado que la intensidad de la corriente debe ser poca, nos quedaremos en estímulos de terminaciones sensitivas superficiales que desencadenarán reflejos motores vegetativos bajo la zona de aplicación. Será, entonces, cuando por efectos de micromasaje celular y micromovilización molecular, junto con el «poco calor» generado por ultrasonidos, se sumarán al masaje de deslizamiento del cabezal y a la reactivación motora del riego linfático o sanguíneo de la zona tratada, actuando en un grado importante como antiflogístico, antiedema, desbridante tisular mediante vibraciones musculares y reactivación metabólica. Esta técnica también se utiliza con otras corrientes de baja frecuencia además de las modulaciones en media frecuencia.

El cabezal de ultrasonidos puede emplearse a modo de electrodo puntual para:

- encontrar puntos dolorosos;
- localizar zonas inflamadas;
- buscar puntos motores;
- tratar puntos gatillo, etcétera.

Para conseguir los efectos antes referidos, podemos aplicar frecuencias fijas entre 50 y 150 Hz o barridos en este espectro, buscando el reflejo cutivisceral por estímulo de las terminaciones exeroceptivas rápidas. Por otra parte, podemos ajustar barridos de amplio espectro, 0-100 Hz, tratando de provocar la respuesta directa de la musculatura lisa de los vasos, así como la respuesta motora de la fibra estriada para mejorar el bombeo circulatorio.

Si pretendemos respuestas vibratorias, ajustaremos la frecuencia fija entre 2 y 6 Hz para relajar los músculos cuando el cabezal se desliza sobre ellos. Esta modalidad requiere que la intensidad eléctrica sea importante, lo que nos obliga a prestar cuidados cuando pasemos por zonas muy sensibles al dolor, debido a su nivel de inflamación o a puntos nerviosos en los que puede generar respuestas sensitivas o motoras excesivas.

En los puntos gatillo, reduciremos la potencia ultrasónica para evitar daños propios del exceso ultrasónico (ver precauciones en el capítulo XV), en tanto que la corriente aplicada debe generar un estímulo sensitivo intenso y monótono con una corriente modulada en frecuencia fija de unos 100 Hz y, si es posible, en modulación cuadrangular. Se mantiene el cabezal o el electrodo puntual una media de 90 sg y se retira cuando detectemos la bajada en el tono muscular o la desaparición del dolor reflejado.

Dependiendo de que atribuyamos más importancia al efecto ultrasónico, al estímulo eléctrico o ambos simultáneamente, trataremos de ajustar las dosis de forma adecuada. Un caso: si deseamos aplicar fundamentalmente la corriente emergente por el cabezal, no es necesario que la dosis ultrasónica tenga precisión; con el mínimo de ultrasonidos, para que el sistema funcione, es suficiente. Pero, si la sesión es completa en ambos sentidos, ultrasonidos y estimulación, las dosis serán cuidadas en ambos casos.

## Indicaciones

- Potenciación muscular.
- Relajación muscular.
- Elongación muscular.
- Bombeo circulatorio.
- Analgesia en dolores de origen químico.
- Analgesia en dolores de origen mecánico.
- Analgesia en dolores de origen neurálgico.
- Desbridamientos tisulares (fundamentalmente en los inicios de la proliferación del colágeno).
- Liberaciones articulares (en los estadios del inicio de proliferación de adherencias).
- Eliminación de derrames articulares (ni agudos ni sépticos).
- En distrofia simpático refleja.
- Movilización intrínseca e íntima de las articulaciones vertebrales.
- Aumento y mejora del trofismo local (por aporte energético).

## Precauciones

Dadas su profundidad e intensidades alcanzadas, debemos tener precaución ante:

- Osteosíntesis cercanas a la zona tratada.
- Cuidar de la adecuada colocación de los electrodos.
- Cuidar que la sesión cumpla con los objetivos propuestos y no peque de excesiva.
- Tener en cuenta la intensidad y situación de electrodos para que no actúe en contra de los objetivos previstos.
- Cuidado con las glándulas y su secreción hormonal provocada.
- Cuidado con las cavidades que contengan líquidos (pues se convierten en zonas de muy buena conducción y concentración de energía eléctrica).
- Cuidado con las cavidades que contengan aire (por su mala conducción, en las paredes límite se puede concentrar en exceso la intensidad eléctrica, *pulmones*).
- Precaución con ganglios nerviosos simpáticos y parasimpáticos situados a lo largo de la columna vertebral.
- Precaución con la influencias en los órganos excretorios, intestinos, vísceras, etcétera.

## Contraindicaciones

- En procesos infecciosos.
- En procesos inflamatorios agudos.
- En roturas tisulares recientes si se aplican con efecto motor.
- En tromboflebitis.
- Sobre procesos tumorales.
- En zonas de osteosíntesis o endoprótesis.
- En zonas que puedan afectar al proceso de gestación.
- En implantes de marcapasos, dispositivos intrauterinos o cualquier otro dispositivo eléctrico o metálico instalado de forma intracorporal.
- No invadir el corazón con el campo eléctrico.
- No invadir el sistema nervioso central o centros neurovegetativos importantes.

## Algunas aplicaciones

### POTENCIACIÓN MUSCULAR

Como ya quedó explicado en los capítulos anteriores (ver capítulo XI), para superar problemas de algunas corrientes de baja frecuencia se acude a la media frecuencia modulada en baja, a fin de conseguir intensas contracciones musculares, formando trenes con ella. Estamos hablando de la corriente de Kotz o estimulación rusa.

Derivado de los requerimientos a máximo rendimiento en el mundo del deporte, aparecen necesidades de manejar intensas corrientes, pero (Fig. XII. 47):

- que no dañen los tejidos;
- que no produzcan quemaduras bajo los electrodos y
- que resulten soportables sensitivamente hablando.

Para ello se piensa en las modulaciones de media frecuencia por:

- anularse en ellas el componente galvánico;
- por molestar poco al paciente;
- por alcanzar profundidades importantes y
- por admitir perfectamente grandes electrodos e invadir amplias masas musculares.

A partir de ese momento, los equipos de media frecuencia tienen que aportar cambios en el diseño dirigidos a la formación de trenes, tales como:

- Modulación dentro del equipo, es decir, aplicaciones bipolares de uno o de ambos circuitos.
- Conseguir modulaciones cuadrangulares (Fig. XII. 48) más eficaces que las sinusoidales, permitiendo un tiempo de silencio eléctrico o reposo entre modulación y modulación, muy adecuada para respetar la fisiología del período refractario en la membrana de la célula muscular y nerviosa.
- La corriente portadora contenida dentro de las modulaciones se establece en 2.500 Hz como media. Pueden usarse 4.000 o más, pero cuanto mayor sea, más intensidad se requerirá. Los equipos de última generación permiten ajustar y elegir entre 2.000 y 10.000 Hz.

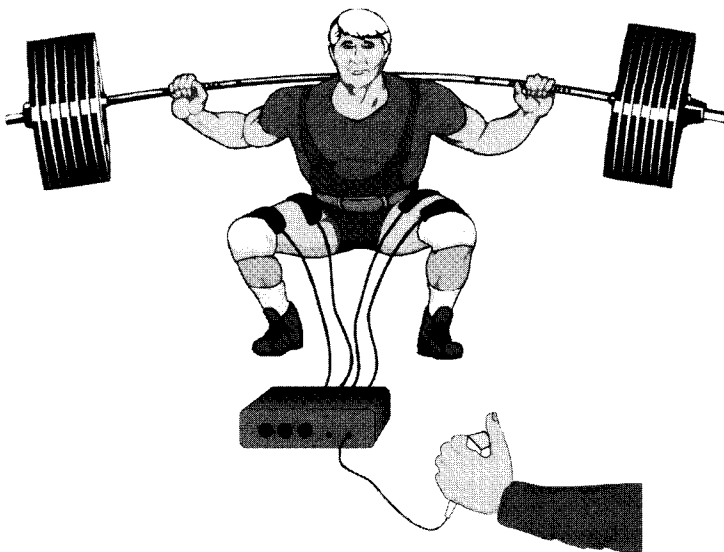


Figura XII.47.

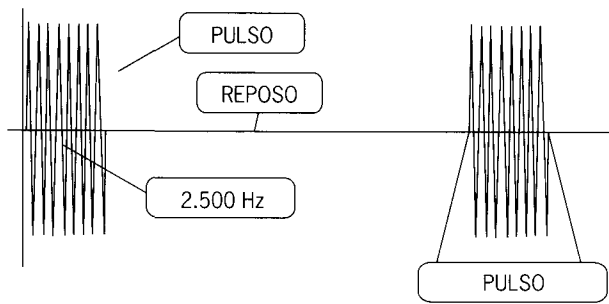


Figura XII-48.

- Poder regular la frecuencia de las modulaciones entre 40 y 120 Hz para adaptarse a los distintos tipos de fibras musculares, lentas o rápidas (Fig. XII 49).
- Poder regular, dentro de la misma frecuencia, la razón existente entre el pulso de la modulación y su reposo para adaptarse a fibras rápidas o lentas, nerviosas o musculares, la tolerancia del paciente o mayor o menor intensidad (Fig. XII. 50).
- Que dichas modulaciones se agrupen en trenes y pausas con distintos tiempos (desde trenes de 0,5 a 30 sg y pausas de 0,5 a 60 sg). Además, se regularán las rampas de subida y bajada (fundamentalmente, la de subida), para que el esfuerzo alcance su máximo de forma progresiva o brusca; las rampas pueden oscilar entre 0 y 2 sg (Fig. XII. 51).

La potenciación muscular con estas corrientes requiere grandes contracciones de grupos musculares, superponiendo al trabajo activo resistido el estímulo eléctrico, circunstancia que hace especialmente útil el sistema de *aplicación intencionada*. Los métodos potenciadores son muy diversos en cuanto a formas y tiempos de trabajo. Podemos realizar isométricos resistidos, (Fig. XII. 52) isotónicos concéntricos resistidos, isotónicos excéntricos resistidos, en cadena cerrada, en cadena abierta, etcétera.

En cuanto al tiempo y modos de potenciar, veamos algunas variantes:

1. Podemos realizar primeramente contracciones moderadas para calentar el grupo muscular de 5 a 10 minutos, destinadas a la musculatura lenta. Seguir con 10-15

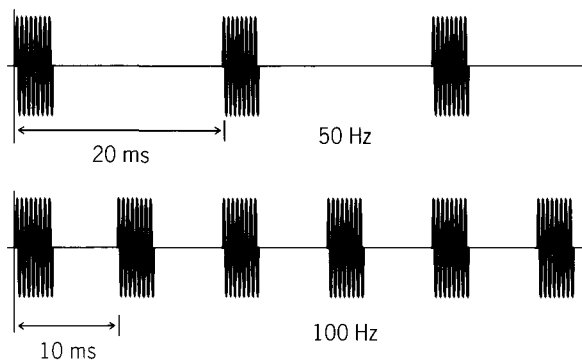


Figura XII-49.

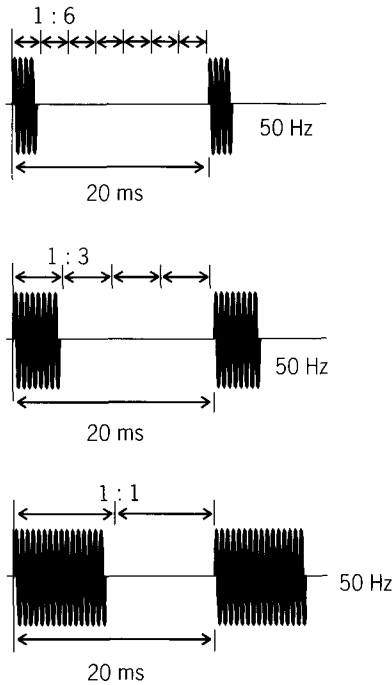


Figura XII.50.

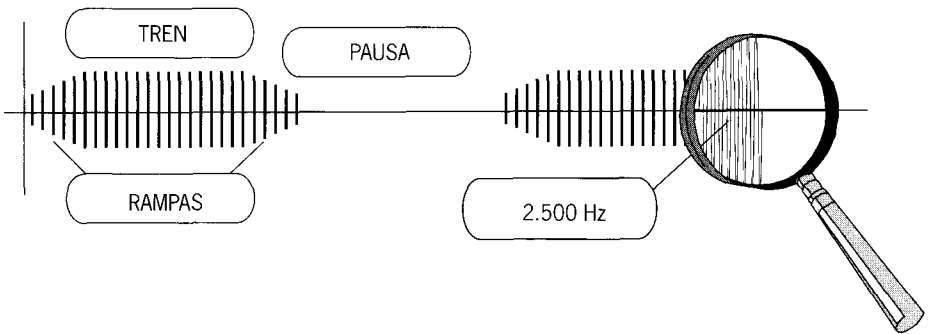


Figura XII.51.

minutos de intensas contracciones destinadas a musculatura rápida, para, finalmente, entrar en un período de unos 5 minutos de relajación con vibraciones musculares.

2. Provocar alrededor de 5 largas contracciones diarias de 20 a 30 sg, dejando descanso de 1 a 3 minutos entre cada contracción.
3. Otros métodos proponen trabajo en 3 ó 4 series de 10 repeticiones con trenes de 10 sg y descansos de 20 sg. Dentro de los trenes, la frecuencia se adaptará en la primera serie para fibra lenta (50 Hz), en las siguientes series se aumenta la frecuencia para incluir progresivamente la fibra rápida y nerviosa (80 Hz).



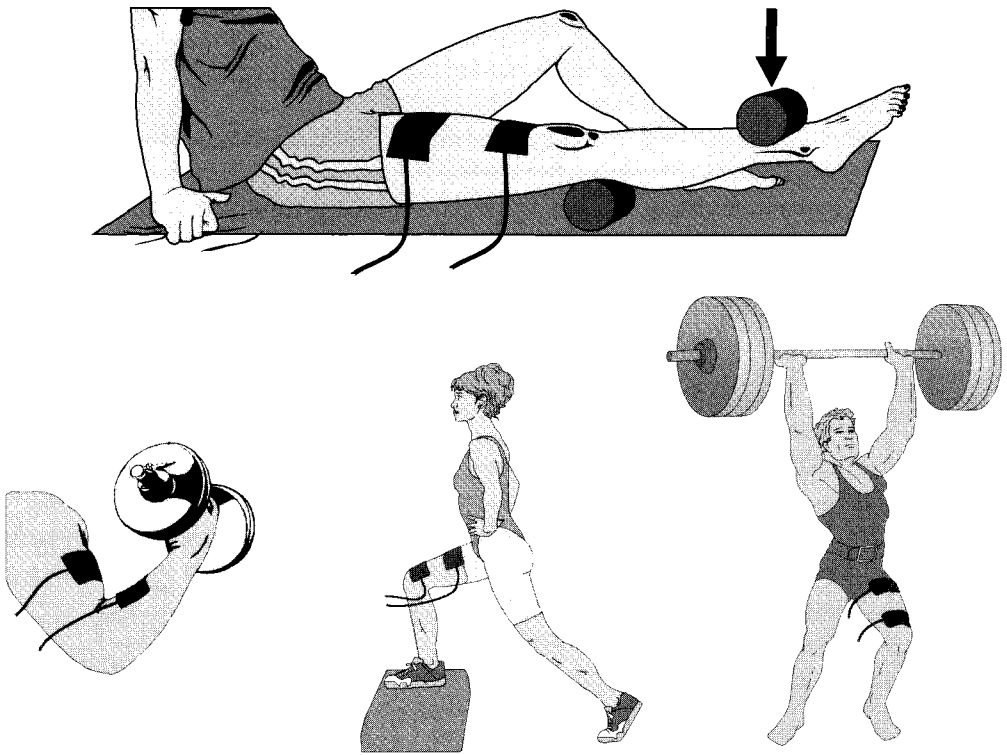


Figura XII.52.

4. Asimismo, algunos métodos proponen series de trabajo intenso de fibra rápida con trenes de unos 10 sg y pausas de 10 sg, pero de forma que en las pausas se mantenga un cierto nivel de estimulación con una frecuencia vibratoria de 3 a 5 Hz, a fin de favorecer la relajación muscular.

Cada profesional debe aplicar los parámetros que considere oportunos siempre que domine el equipo estimulador, la técnica, el estado del paciente, una exploración adecuada y suficiente experiencia personal.

Es fundamental tener en cuenta la frecuencia de la corriente para trabajar con la precisión deseada sobre musculatura lenta, rápida o la frecuencia adecuada en ese preciso caso y momento. Es importante acudir a lo expuesto sobre la exploración en este sentido, en los capítulos X y XI, recomendando utilizar los impulsos cuadrangulares exploratorios y, con los parámetros obtenidos, trasladarlos a las modulaciones cuadrangulares de media frecuencia o corriente de Kotz.

## ELONGACIÓN MUSCULAR

En el capítulo XI ya existe un epígrafe suficientemente extenso sobre el tema, por consiguiente es mejor acudir a él, pero, no obstante, recordaremos en este punto que la técnica se basa en conseguir fuertes contracciones musculares inducidas por electroestimulación

con trenes (de corrientes que *molesten poco*, las de Kotz en este caso) sobre los músculos destinados a la elongación, simultáneamente al trabajo activo contra máxima resistencia. La resistencia aplicada puede hacerse de forma manual o aprovechando la gravedad y peso del propio paciente.

Los músculos a elongar se les hará trabajar:

- en alargamiento máximo;
- contra resistencia máxima y
- en contracción isométrica concéntrica.

Veamos un ejemplo:

- Se colocarán los electrodos en la forma que consideremos mejor para una respuesta lo más global y completa del grupo muscular a estimular (aplicación multipolar o bipolar muy amplia).
- En la máquina seleccionamos corrientes con frecuencia adecuada para el caso (veánse capítulos X y XI), trenes con frecuencia entre 50 a 80 Hz, de aplicación intencionada con un pulsador en la mano del paciente u otra tercera persona que ayude.
- Se regula la intensidad con una o varias aplicaciones de prueba que consigan buena respuesta sin posibilidades de daños o molestias al paciente. Situamos a éste y la zona a tratar en la posición adecuada, en este caso, los músculos estimulados para contracción en alargamiento máximo (isquiotibiales) (Fig. XII. 53).
- Se le aplica la fijación manual, que se convertirá en resistencia, por parte del fisioterapeuta o del propio paciente.
- Se le da la orden de mantener la tensión y contracción contra la resistencia aplicada.

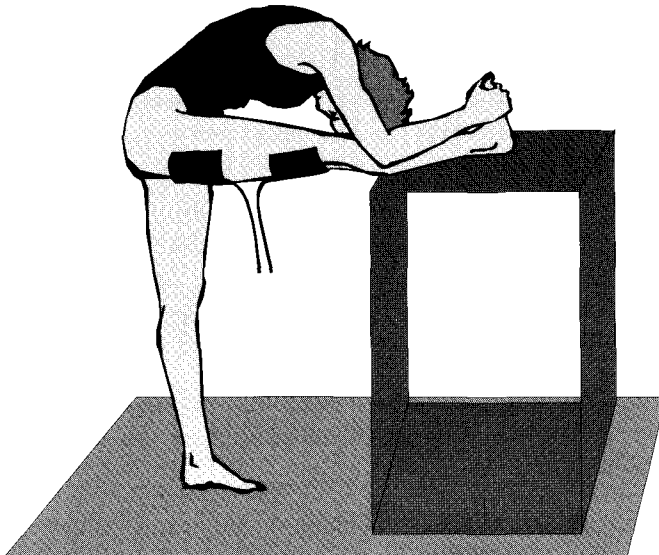


Figura XII.53.

- Inmediatamente después del inicio de la contracción activa, se pulsa el mando para mantenerlo hasta la fatiga del paciente. Se mantiene la resistencia y se insiste al paciente para que no ceda en el esfuerzo o se descoordine.
- Pasados unos 10 segundos de esfuerzo en contracción isométrica o fatiga del paciente, damos la orden de retirar el estímulo eléctrico e inmediatamente se cede en el esfuerzo activo contra resistencia.
- Dejamos un tiempo de descanso, dos veces superior al trabajado, para iniciar de nuevo la maniobra un mínimo de tres veces.

Apreciaremos respuestas importantes en la longitud de las estructuras elongadas, sobre todo, si se hallan sometidas a procesos de fibrosis recientes con adherencias poco establecidas, ganando importantes tramos articulares que, de otra forma, son más difíciles.

Esta técnica está adecuadamente indicada siempre que deseemos ganar amplitud articular y el freno se halle fuera de la articulación. Tal vez, dentro de la articulación, podamos conseguir que cedan estructuras fibróticas si éstas son recientes o se están instaurando en esos momentos, pero si las fibrosis son firmes y potentes, a no ser que resulten desgarradas por aplicación de fuerzas activas o pasivas (nada recomendables) sobre la articulación, no conseguiremos resultados satisfactorios.

Si nos imaginamos una rodilla en que pretendemos elongar su cuádriceps, podemos situar al paciente según la figura XII. 54 y aplicar el proceso anterior, buscando que las tensiones aplicadas en las cápsulas y aponeurosis desde las fibras musculares contraídas (y forzadas a trabajar) desbriden y desatrapen las distintas capas aponeuróticas entre sí y de su masa muscular.

Es habitual que después de esta técnica los pacientes manifiesten agujetas o dolores en la masa muscular en el transcurso de dos a tres días, seguramente debidos a microlesiones repartidas por toda la musculatura afecta o allí donde más estrés tuvo que soportar.



Figura XII.54.

Es importante prestar especial atención a las lesiones y desgarros musculares apoyándonos en dos pilares básicos:

1. que la intensidad de la corriente no se eleve excesivamente y
2. en el control voluntario del propio paciente, de forma que le permita abortar la técnica en cualquier momento.

Es por esto que la aplicación intencionada y la dirección de la maniobra serán, en todo momento, condiciones indispensables para su práctica.



## CAPÍTULO XIII

### Alta frecuencia «Termoterapia profunda»

Hasta este momento nos hemos centrado en aplicación de «corrientes» que generaban estímulos nerviosos sensitivos, estímulos nerviosos y musculares con respuesta motora y aporte energético *moderado* que influye en el trofismo y metabolismo (excepto la galvánica en la que su aporte energético no es tan moderado). A partir de este capítulo, el suministro energético es fundamental e importante, buscando objetivos de estímulo metabólico fundamentalmente.

Podrán parecer repetitivos los conceptos, las respuestas fisiológicas y efectos orgánicos en los siguientes capítulos por su semejanza. Pues realmente es así, ya que, aunque se pretendan marcar diferencias entre las distintas técnicas de aporte energético, realmente el sistema de actuación es el mismo: **«inyectar al organismo energía para acelerar sus respuestas metabólicas a distintos niveles»**. Las diferencias entre dichas técnicas se marcan por la potencia aplicada, por el hecho de que exista transformación energética o no y por la facilidad para absorberlas el organismo.

Cuando hablamos de «alta frecuencia», estamos entrando en un nuevo concepto de terapia por aplicación de energía electromagnética en una banda del espectro electromagnético, que al introducirla en el organismo se transformará en energía electromagnética en otra banda distinta y más alta del espectro, la del calor, es decir, *infrarrojos*.

La alta frecuencia que aplicamos está formada por corrientes alternas desde alrededor de 0,5 Mhz hasta 2.450 Mhz (millones de hercios).

Se usa de forma (Fig. XIII. 1):

- *continuada (continuo)* y
- *con interrupciones (pulsátil)*.

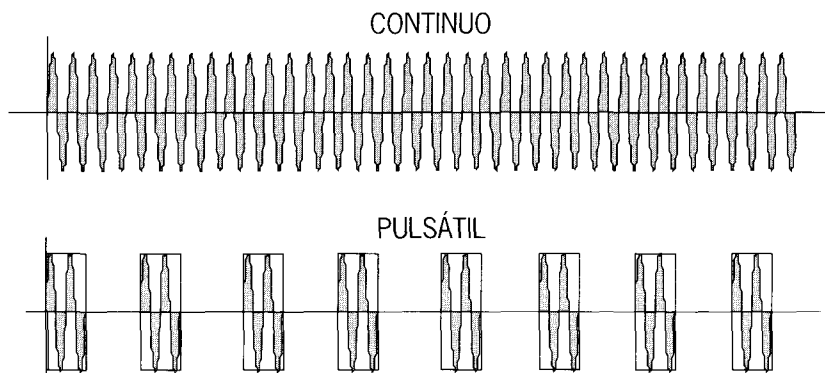


Figura XIII.1.

Las ondas electromagnéticas en el espectro de alta frecuencia se emplean en electroterapia, porque al invadir los tejidos generan calor a causa de la ley de Joule, por tanto, al circular una corriente eléctrica por un conductor, en éste se puede generar calor como nueva energía según la siguiente fórmula:

$$C = (Z \cdot I^2 \cdot t) \cdot 0,24$$

Las calorías (C) generadas dependen de (Z) o impedancia (resistencia) de la materia por la intensidad de la corriente al cuadrado ( $I^2$ ) y por el tiempo en segundos (t), todo ello convertido a calorías si lo multiplicamos por 0,24.

Esta fórmula no es otra que la tan consabida ley de Joule para el trabajo, siendo trabajo en (J) = potencia (W) · tiempo (t) (Fig. XIII. 2),

donde  $(Z \cdot I^2 \cdot t) = J$  y  $C = J \cdot 0,24$

Cuando aplicamos alta frecuencia a la materia, dependiendo de las condiciones y características de la energía, forma de aplicarla, condiciones electrofísicas del medio que la soporta, etc., ésta se transforma en otras manifestaciones energéticas, tales como fuerza magnética y fuerza electromotriz, que actuarán sobre los iones o moléculas de las disoluciones y dispersiones coloidales contenidas en el organismo vivo. O simplemente aparecerán cambios en la longitud de onda y frecuencia de las ondas aplicadas.

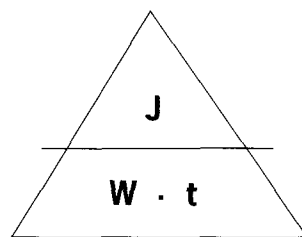


Figura XIII.2.

Esta forma de generar calor dentro del organismo nos conduce a denominar esta técnica con el sobrenombre de *termoterapia profunda*, pues la energía térmica producida aparece en los tejidos por *transformación* de una banda electromagnética (no térmica) en otra banda del espectro (térmica). La nueva energía siempre será térmica, pues no debemos confun-

dir la realidad del fenómeno electrofísico con la apreciación subjetiva del paciente. Si la cantidad de calorías generadas en los tejidos vivos no consigue estimular o romper el umbral detector de los termorreceptores, el paciente no sentirá calor, aunque ello no signifique que se esté generando a un nivel infraliminal.

A la hora de aplicar esta técnica al organismo, se usan tres métodos fundamentales:

- campo de condensador;
- campo de inducción;
- campo de irradiación.

**El campo de condensador** (Fig. XIII. 3) consiste en colocar dos placas metálicas cargadas eléctricamente una frente a otra, dejando una distancia entre ambas, de forma que cuando una es (+), la opuesta es (-). Esto da lugar a una diferencia de potencial entre ambas (electrodos) que generará fuerza electromotriz en el espacio que las separa. Si intercalamos entre las placas un miembro de nuestro organismo, éste se verá sometido a la fuerza electromotriz existente y las cargas iónicas de las disoluciones orgánicas *se desplazarán acercándose o alejándose de los electrodos*.

Dado que la polaridad (+) de una placa y (-) de la otra se alternan o se invierten millones de veces por segundo, también se provocará un «vaivén» en los iones orgánicos de millones de veces por segundo.

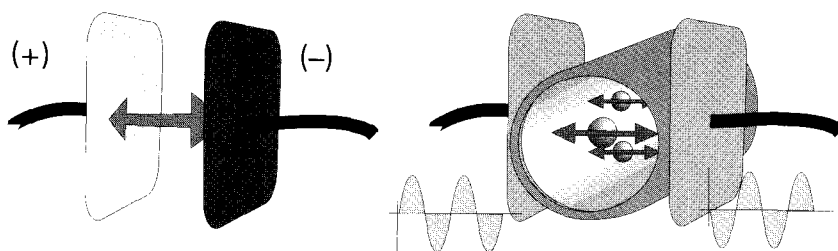


Figura XIII.5.

**El campo inductivo** (Fig. XIII. 4) procede de la inducción electromagnética que aparece en las bobinas cuando éstas son circuladas por corriente eléctrica. Si en el interior de la bobina se halla uno de nuestros miembros, dicha fuerza magnética inducirá movimiento a las cargas iónicas contenidas en los tejidos.

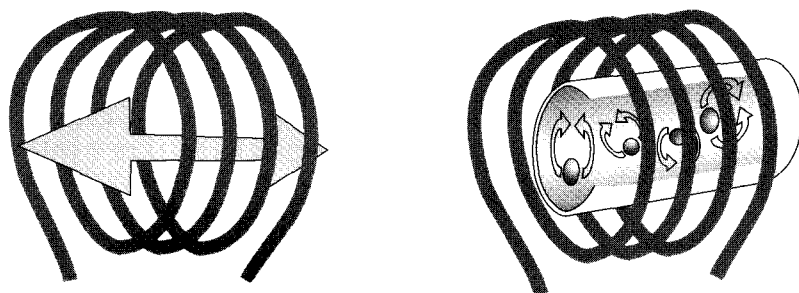


Figura XIII.4.

Debemos poner atención al establecer la diferencia existente entre el campo de condensador y el campo de inducción, pues, mientras que en el de *condensador* los tejidos reciben fuerza *electromotriz*, en el campo de *inducción* recibirán *fuerza magnética*, provocando que en el primer caso los iones se desplacen de forma rectilínea entre las placas, mientras que en el segundo, lo hacen de forma circular y en sentido perpendicular al vector de la fuerza magnética. Dado que trabajamos con corrientes alternas, tanto el «vaivén» del campo de condensador como los giros o turbulencias magnéticas del campo inductivo lo serán en ambos sentidos y con la frecuencia de oscilación, «baile iónico», correspondiente a la frecuencia de la corriente.

Pero, si, en vez de arrollar una bobina sobre el segmento corporal, aplicamos dos bobinas planas contralaterales de forma que las caras que se miran sean de polaridad magnética opuesta (*norte-sur*), en lugar de provocar desplazamientos giratorios de los iones, estos serán de forma perpendicular al sentido de la fuerza magnética. Por ejemplo, en sentido longitudinal al segmento tratado (Fig. XIII. 5).

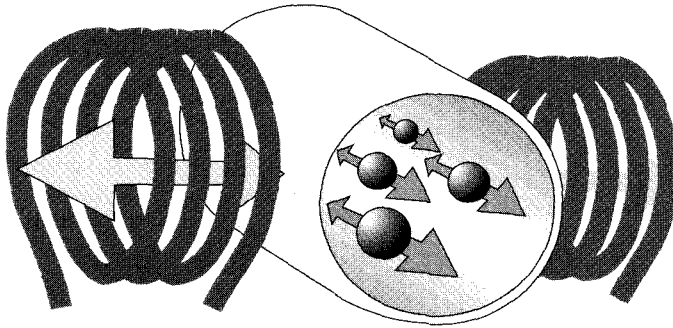


Figura XIII.5.

El **campo de irradiación** (Fig. XIII. 6) se basa en emitir o irradiar ondas electromagnéticas desde una antena hasta alcanzar al organismo, invadiéndolo y penetrándolo para generar turbulencias electromagnéticas en los iones de las disoluciones orgánicas.

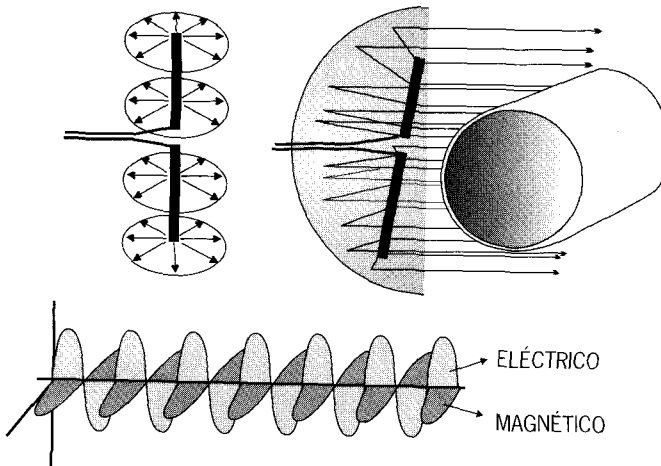


Figura XIII.6.



Las ondas electromagnéticas, como su nombre indican, se componen de dos campos de fuerza: el *eléctrico* o fuerza electromotriz y el *magnético* o fuerza magnética. Ambos se manifiestan perpendicularmente uno con relación al otro, según queda representado gráficamente en la parte inferior de la figura XIII. 6.

Las ondas electromagnéticas avanzan en línea recta por el vacío o son conducidas por la materia si ésta es buena conductora (Fig. XIII. 7).

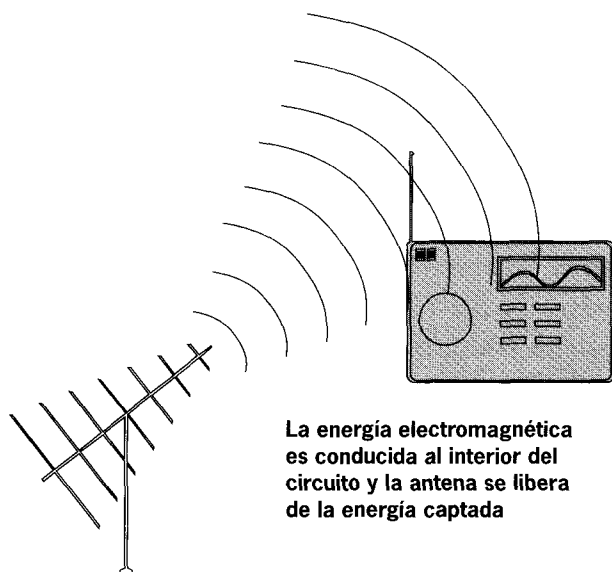


Figura XIII.7.

Dado que el organismo humano es un conductor relativamente bueno cuando se halla recibiendo ondas electromagnéticas, primero las absorbe, seguidamente las reconduce, concentrándolas en los tejidos con mayor carga iónica, y allí serán transformadas en energía cinética para la agitación iónica o molecular, *agitación que irradiará, a su vez, calor*.

Las ondas son reconducidas o desviadas por las zonas de menor resistencia, pero, si para alcanzarlas se requiere superar otras de mayor resistencia, la energía aplicada habrá sufrido una cierta pérdida en su potencia, con lo cual las que consigan acceder a las zonas de mejor conducción no generarán el mismo rendimiento que si no hubieran superado tejidos difíciles. Esta circunstancia ocurre fundamentalmente en las aplicaciones por irradiación (ver efecto serie y paralelo al final del capítulo).

Un buen conductor las absorbe, las reconduce y las deriva a objetos o elementos que se hallen en contacto con él, como puede ser una antena de radio captando ondas y entregándoselas al circuito electrónico (Fig. XIII. 7). Pero, si el conductor no puede derivar esa energía, la absorberá de forma tal que, si es en gran cantidad, su estructura molecular se verá sometida a agitación hasta calentarse en mayor o menor grado.

Esto último podemos compararlo con lo ocurrido en el filamento de una lámpara de incandescencia cuando hacemos pasar electricidad a su través. Debido a su pequeño calibre y

a una determinada dificultad al desplazamiento de los electrones, éstos se agitan de tal forma que irradian ondas electromagnéticas en el espectro de la luz. Si disminuyéramos la cantidad de energía eléctrica o aumentásemos el calibre del filamento, la agitación molecular resultaría menor y la irradiación de ondas electromagnéticas se emitirían en otra banda más baja, tal vez en el rojo o en los infrarrojos o, incluso, no generar calentamiento alguno. Cualquiera puede observar fácilmente lo dicho con un simple regulador de luminosidad de los utilizados habitualmente en las viviendas.

## Densidad de energía electromagnética

La energía electromagnética propagada en alta frecuencia obedece a las mismas leyes que las ondas irradiadas en la banda de la luz. Por lo tanto, podemos asemejarlas a muchos de sus comportamientos (no todos). Las ondas de alta frecuencia se pueden irradiar en todas las direcciones o focalizarse, y avanzan a la misma velocidad de propagación de la luz y, por otra parte, debemos medir la energía que recibimos en las superficies (Fig. XIII. 8).

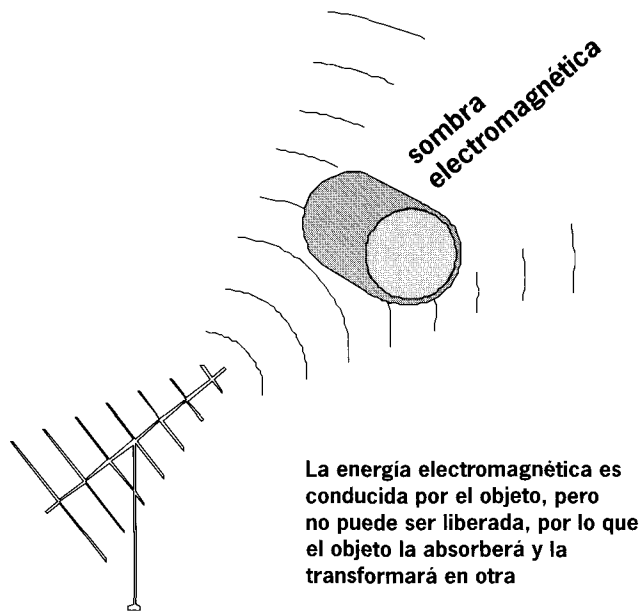


Figura XIII.8.

Tomando como referencia la energía recibida en un segundo (potencia en W) y la superficie de exposición, las circunstancias que condicionen la velocidad de absorción y la cantidad absorbida por unidad de superficie conducirán a establecer los *vatios por metro cuadrado* ( $W/m^2$ ).

A modo de ejemplo podemos observar la figura XIII. 9, donde se representan dos aplicaciones distintas de onda corta en campo de condensador, por las que pasan 50 W de potencia pero, con electrodos de distinto tamaño. Es lógico pensar que en la situación de elec-

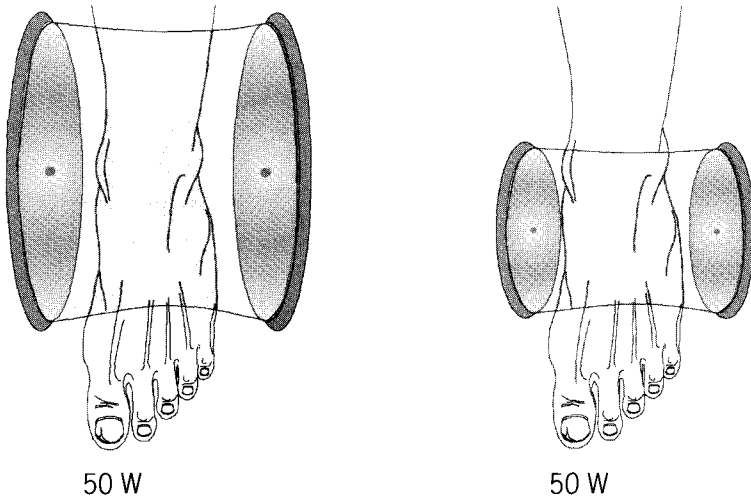


Figura XIII.9.

trodos pequeños, los tejidos corporales deberán soportar mucha más energía en menor cantidad de tejidos, mientras que en la de electrodos grandes, disponemos de mayor porción corporal para absorber los 50 W. Lo realmente trascendente es la potencia recibida más que la emitida.

En la cantidad de energía recibida influyen tres factores básicos (Fig. XIII. 10):

- potencia aplicada;
- tamaño de los electrodos y
- distancia entre electrodos y tejidos.

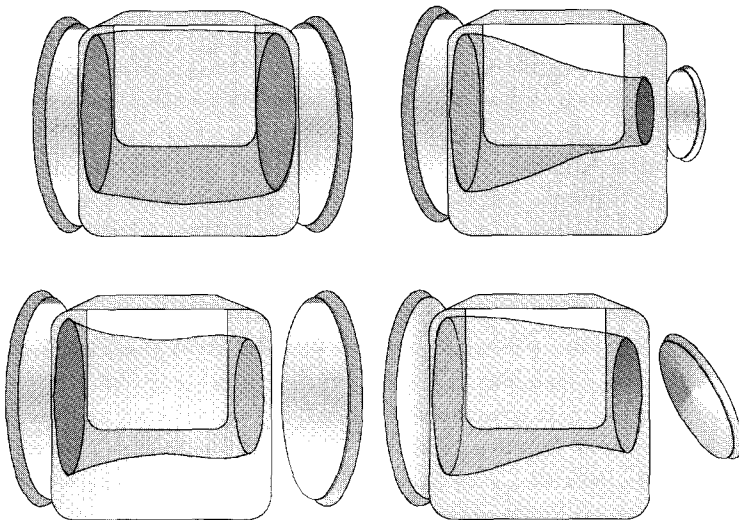


Figura XIII.10.

No obstante, es muy difícil poder controlar matemáticamente la potencia o el trabajo generados en el interior corporal; por ello, en *termoterapia* de alta frecuencia, usaremos el sistema de dosificación que más adelante se explica.

## Clasificación de la alta frecuencia

TABLA XIII. 1

Nombre	Mhz	L. de O./m	Banda
D'Arsonval	1	300	hectométricas
Diatermia	10	30	decamétricas
Onda corta	27	11	métricas
Onda corta	40	7,5	métricas
Ultra corta	432	0,69	decimétricas
Microonda	900	0,33	decimétricas
Microonda	2450	0,122	centimétricas

Si nos fijamos en la tabla XIII. 1, apreciaremos dos cuestiones que llaman la atención:

- estamos indicando puntos concretos en las distintas bandas;
- si ponemos atención a las cifras de frecuencias y longitudes de onda, veremos que son valores inversos.

El primer punto viene dado por acuerdos internacionales, según los cuales, para esta técnica, solamente son autorizados a fabricar y usar los referidos puntos de las distintas bandas, a fin de evitar interferencias en radiodifusión u otros sectores industriales.

El segundo punto se refiere a que podemos utilizar doble nomenclatura para indicar el punto de la banda: bien en frecuencia (número de oscilaciones en un segundo) o en longitud de onda (distancia reflejada en unidad de longitud que existe desde que comienza un ciclo hasta que termina); ambos parámetros son inversos entre sí (Fig. XIII. 11).

*Las diferentes frecuencias y longitudes de onda generan distintos fenómenos electrofísicos y electroquímicos, pues mientras las frecuencias más bajas (onda corta) provocan desplazamientos de las cargas iónicas y masas eléctricas propias del organismo, éstas, al desplazarse, se encontrarán con resistencia al movimiento y su correspondiente transformación en otra energía. Por otra parte, las frecuencias más altas (microonda) no son capaces de conseguir el desplazamiento de las cargas iónicas propias de los tejidos, pero agitan, rotan y excitan a las moléculas ionizadas o iones, los cuales irradiarán ondas electromagnéticas en la banda de infrarrojos. Cuanto más excitadas sean las estructuras moleculares, mayor cantidad de infrarrojos será generada.*

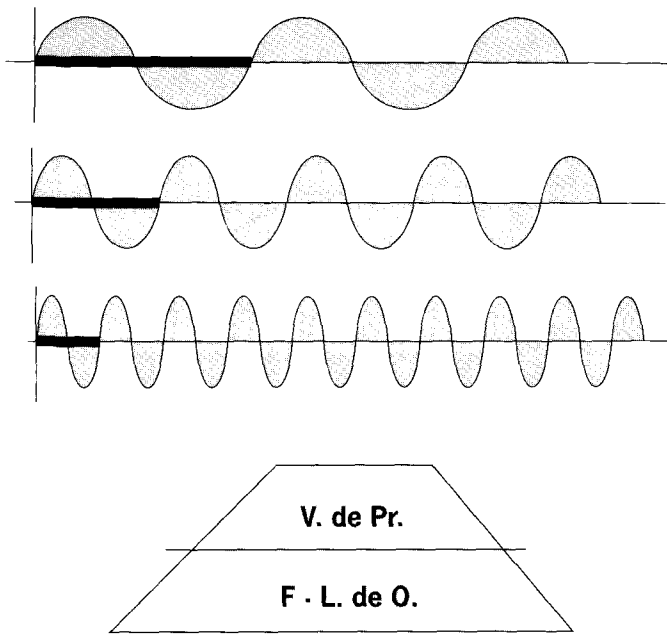


Figura XIII.11.

Si calculamos el producto entre los dos valores (la frecuencia en Hz y la longitud de onda en metros), conseguiremos la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas. Dado que la velocidad de propagación es una constante, los otros dos valores serán variables e inversos entre sí.

Estamos habituados a considerar que la velocidad de propagación de la luz es de 300.000 Km/s (300.000.000 m/s), aunque la constante para trabajar con la debida precisión es de 299.792.458 m/s. Dado que nosotros convertiremos la frecuencia a longitud de onda o viceversa, únicamente para conocer bien la herramienta que usamos, habremos de emplear en nuestros cálculos la constante de velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas por aproximación (300.000.000 m/s).

¿Cuál es la longitud de onda en la microonda de 900 Mhz?

$$L. \text{ de O.} = \frac{V. \text{ Pr.}}{F} = \frac{300.000.000}{900.000.000} = 0,33 \text{ (33 cm)}$$

Debemos cuidar de forma especial no operar con valores en unidades distintas, pues no podemos mezclar m/s y Mhz o Mhz con Km/s.

¿Cuál es la frecuencia correspondiente a la L. de O. de 12,25 cm?

$$F. = \frac{V. \text{ Pr.}}{L. \text{ de O.}} = \frac{3000.000.000 \text{ m/s}}{0,1225 \text{ m}} = 2.448.979.591,837$$

(aproximadamente los 2.450 Mhz de la MO).

## Análisis y características de los sistemas usados

### D'ARSONVAL

Fueron las corrientes iniciales en la generación de calor tisular. Debido a la poca evolución técnica y experimental, tuvieron que ser desechadas por sus dificultades a la hora de aplicarlas, pues generaban pequeños arcos voltaicos y cierto nivel de agresión en la piel por quemaduras moderadas.

En la actualidad, se están recuperando por la utilización del aparato denominado *regenerador funcional* (o técnica de Transferencia Eléctrica Capacitativa), perfeccionado y evolucionado, ofreciendo buenos resultados como aplicador **local** bajo la zona de barrido manual abarcada por el electrodo activo, zona elegida para tratar. La vía de mayor utilización del «regenerador funcional» en los temas de salud se produce en el campo de la estética. Sin embargo, es una herramienta potente en fisioterapia (Fig. XIII. 12).

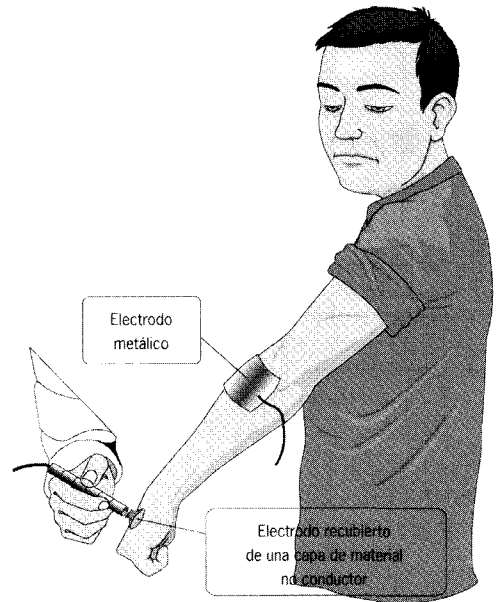


Figura XIII.12.

Las características más señaladas de la D'Arsonvalización eran:

- la frecuencia de utilización se hallaba entre los 500 Khz (500.000 Hz) hasta 1 Mhz (1.000.000 Hz);
- poca impedancia de los tejidos (con relación a frecuencias más bajas);
- se usaba con dos electrodos: uno metálico y amplio, a modo de electrodo masa asido con una mano, mientras que el activo (bastante más pequeño) redondeado y de metal aislado de la piel por una cubierta de material aislante;
- producía chisporroteo entre la piel y el electrodo si el aislante permitía zonas de menor resistencia;
- serio peligro de quemaduras en la piel;
- calor muy local y superficial bajo el electrodo aplicador;
- el calor se genera por los desplazamientos de las cargas eléctricas dentro de los tejidos.

En la actualidad se han conseguido eliminar muchos de los problemas que se dieron en el pasado por la suficiente depuración del sistema, convirtiéndose en una técnica muy interesante para el uso en fisioterapia.

### Diatermia

- La frecuencia de utilización se estableció en 10 Mhz.
- Se aplicaba con electrodos metálicos sobre la piel, separados por una gamuza seca (Fig. XIII. 13).

- Peligro de chisporroteo y arcos voltaicos entre la piel y el electrodo.
- El calor es generado por los desplazamientos de cargas eléctricas dentro de los tejidos.
- Predomina el efecto capacitativo.
- El paciente debe estar aislado de tierra o de otros posibles objetos conductores (no tocar al paciente).
- El calor generado cubre una zona más profunda y amplia que en la D'Arsonvalización.

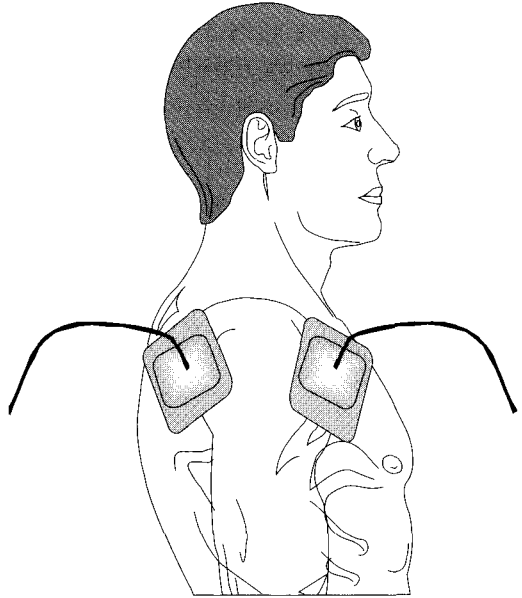


Figura XIII.13.

### ONDA CORTA

- La frecuencia de utilización es de 27 Mhz.
- Su efecto electrofísico fundamental se basa en la capacitancia o efecto de condensador.
- Se aplica con placas o bobinas separadas de la piel (Fig. XIII. 14).
- El calor es generado por desplazamiento de cargas eléctricas.
- Se genera más calor en los tejidos de mayor conductividad.

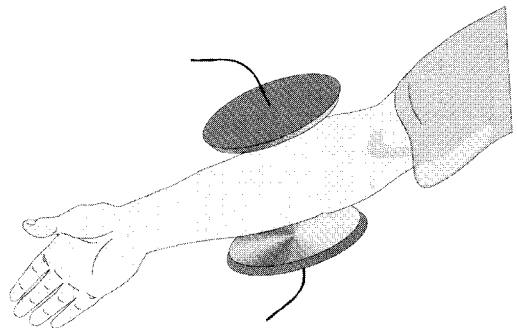


Figura XIII.14.

### ULTRACORTA

- La frecuencia de utilización es de 432 Mhz.
- Se aplica con irradiador o antenas direccionadas (Fig. XIII. 15).
- El aplicador se mantiene separado de la piel unos centímetros.
- No se basa en el efecto capacitativo ni inductivo, sino en el campo de irradiación.
- Se emplea un único electrodo.
- La energía electromagnética penetra en los tejidos profundos a través de la piel y tejido celular subcutáneo.
- No aparece el peligro de derivaciones eléctricas del paciente hacia tierra.
- El calor se genera por la vibración molecular, en lugar de por el desplazamiento de cargas eléctricas internas del organismo.

## MICROONDA

- Recibe también el sobrenombre de *radarterapia* por coincidir con la misma frecuencia que el *radar* convencional (2.450 Mhz).
- Se aplica con un electrodo antena muy direccional (Fig. XIII. 15).
- Estas ondas electromagnéticas presentan fuertes efectos de reflexión y de refracción.
- Penetra en los tejidos profundos a través de la piel y tejido celular subcutáneo.
- La energía calórica generada se consigue por el fenómeno de *giro molecular*, tomando como referencia la molécula de agua.

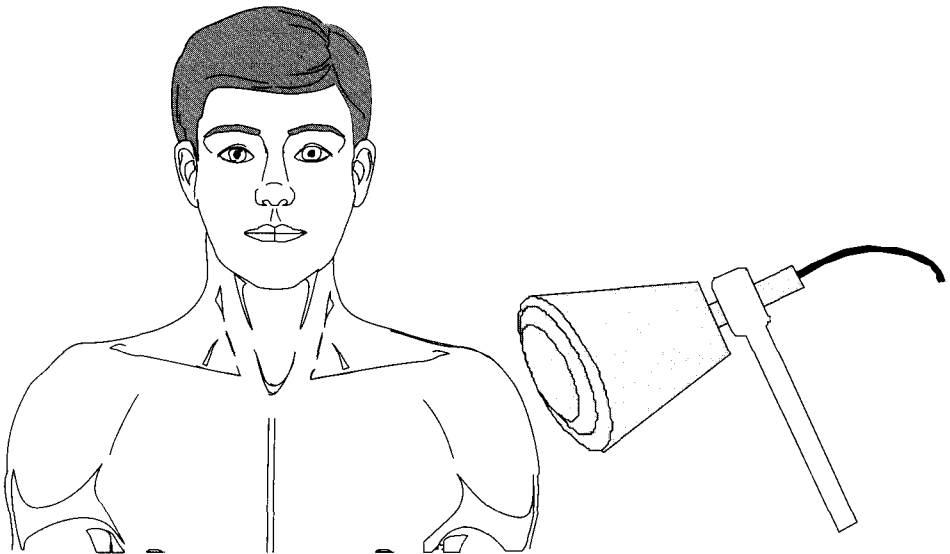


Figura XIII.15.

## DIAPULSE O ALTA FRECUENCIA PULSADA

En su momento se diseñaron unos equipos con electrodos característicos y destinados a evitar la generación de calor en los tejidos (al menos, calor por debajo del estímulo a los termorreceptores). Para ello, la tecnología se basó en aplicar pulsos separados por interrupciones hasta bajar la potencia aplicada por debajo de los límites considerados térmicos, salvo que esa potencia se suministre a través de electrodos muy pequeños. Este recurso tecnológico se apoya en la ya comentada fórmula de:

$$W_m = W_p \cdot T_{imp} \cdot F_{Hz}$$

- onda corta o microonda en forma pulsátil (interrupciones en la aplicación continuada);
- los pulsos suelen abarcar una banda de frecuencia entre 20 a 1.000 Hz;
- *no genera calor* (a niveles supraliminales);



- *no siente nada el paciente;*
- se aplica mediante campo magnético generado por una bobina (Fig. XIII. 16);
- el electrodo contiene en su interior un circuito resonante formado por una bobina y su condensador variable. Circuito que necesita sintonización en el mismo electrodo, mediante el giro del condensador, sintonía indicada por la luminosidad de una lamparita destinada a controlar el mejor rendimiento del electrodo (Fig. XIII. 16);
- al aplicar un campo magnético con oscilaciones de baja frecuencia, produce efectos similares a la magnetoterapia de alta frecuencia por turbulencia.

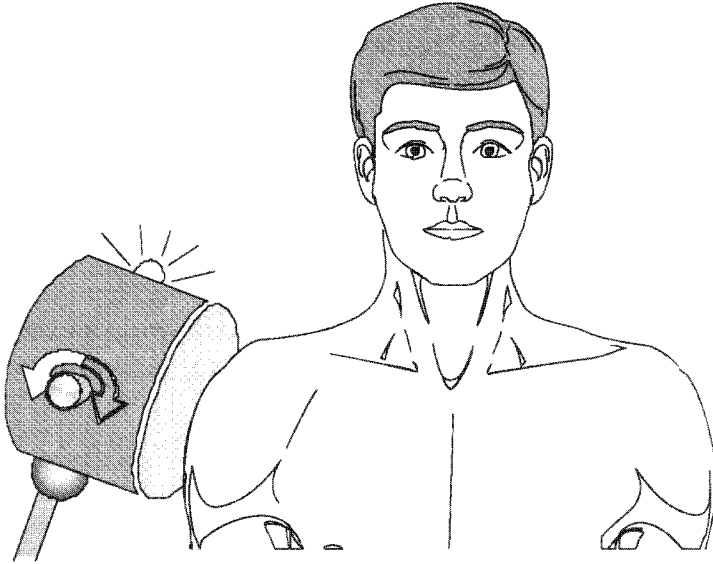


Figura XIII.16.

## Calor y temperatura

**Calor.** Es la energía generada en la materia o aplicada, la cual produce cambios de tipo físico, mecánico y electroquímico en dicha materia:

- *físicos:* cambios de sólido a líquido y a gaseoso;
- *mecánicos:* cambios de menor a mayor volumen;
- *electroquímicos:* provoca cambios químicos o generación de nuevas sustancias.

Esta energía, normalmente, procede del aumento en la agitación y movilidad de iones, átomos y moléculas. La unidad es la *caloría* (C).

**Temperatura.** Es una forma de cuantificar o de tener apreciación objetiva de la existencia de calor en los cuerpos, es decir:

- es la cantidad de calor acumulado por unidad de volumen (*densidad térmica*);
- es la forma comparativa de medir la cantidad de calor en los cuerpos, expresada en °C (centígrados, por ser habitual en nuestro sistema de medidas).

## Transmisión del calor

- **Por conducción.** Los objetos que se tocan entre sí permiten el trasvase directo de calorías del que más tiene al que menos posee, por la tendencia al equilibrio de todas las energías.
- **Por convección.** La energía calórica es trasladada de un objeto a otro a través de un fluido intermedio: aire, otros gases o líquidos. El fluido sirve de transmisor entre un objeto primario que le cede calor y otro objeto secundario a quien el fluido, a su vez, se lo traspasa (realmente implica una doble transmisión por conducción).
- **Por radiación o irradiación.** El calor es transmitido y comunicado de un objeto a otro mediante radiaciones electromagnéticas por el vacío o a través de la atmósfera en la banda de *infrarrojos*. Ejemplos claros son los rayos del sol recibidos directamente o el calor de una estufa cuando se siente sobre nuestra piel por la cercanía.
- **Por conversión.** Cuando una energía es aplicada y ésta, o parte de ella, se transforma en calor en el interior de la propia materia.

La aplicación de alta frecuencia no transmite calor del aparato al paciente, sino que se genera en los propios tejidos (por transformación) al ser invadidos por las fuerzas electromagnéticas, preferentemente en los tejidos profundos. Por ello, esta técnica recibe el sobrenombre de *termoterapia profunda*.

La aplicación de infrarrojos sí transmite calor del aparato al paciente, recibido en la piel con un cierto poder de penetración, de algunos milímetros (irradiación). Por ello recibe el calificativo de *termoterapia superficial*.

## Dosis

Aunque más atrás se dice que la forma de averiguar la energía recibida por un paciente depende:

- de la zona expuesta;
- de la potencia aplicada;
- del tamaño de los electrodos;
- de la distancia de éstos;
- de la conductividad de los tejidos, etcétera.

en la práctica, es muy complejo determinar la energía electromagnética necesaria para transformarla justo en las calorías que deseamos.

¿Cuántas calorías (o Julios/cm<sup>2</sup>) se requieren para estimular un sistema biológico afectado de patología? ¿Cuánta energía es capaz de dañar al sistema biológico por saturación? ¿Cuánta energía es insuficiente para no provocar las respuestas terapéuticas? Resulta muy complejo realizar cálculos matemáticos con estas técnicas por las causas y variables tan complejas que se mencionan en el párrafo anterior.

Pero se nos ofrece la ventaja de que estas técnicas no tienen porqué someterse a cálculos teóricos, ya que partimos de una referencia objetiva, de un *feed-back*, es decir, podemos aplicar las técnicas según la respuesta observada (semejante a cuando buscamos respuestas motoras). La referencia objetiva la encontramos en la percepción sensorial térmica del paciente y la información que éste nos da durante la sesión.

Resulta, entonces, que la dosis aplicada para *transformar* alta frecuencia en calor dependerá de la información subjetiva (objetiva desde el punto de vista del terapeuta) que el paciente nos aporte, *según él lo perciba* en sus termorreceptores, clasificando dichas dosis en las siguientes intensidades:

- **grado I calor subliminal (imperceptible).** El paciente no siente nada a pesar de la aplicación con cierta potencia;
- **grado II calor suave (ligeramente perceptible).** Supraliminal, pero de muy poca intensidad;
- **grado III calor moderado (claramente perceptible).** Con cierta intensidad, pero agradable;
- **grado IV calor intenso (fuertemente perceptible).** Puede llegar a rozar el umbral del dolor, sobre todo después de un cierto tiempo;
- **grado V calor quemante (percepción de quemadura).** Cuando el calor se hace doloroso.

Solemos emplear, en la generalidad de nuestros tratamientos, el calor suave (grado II) y el moderado (grado III). El subliminal (grado I) se utiliza con la alta frecuencia atérmica y el intenso (grado IV) se puede aplicar durante poco tiempo.

## Tiempo de la sesión

La fisiología nos enseña que nuestros tejidos deben mantener una temperatura media de 37 °C, luego, si provocamos aumento de la temperatura, el neurovegetativo lo detectará y desencadenará mecanismos de termorregulación (*siempre que la zona no se halle afectada por denervaciones u otras alteraciones neurológicas*). Siendo el caso, su poder de respuesta estará muy afectado o incluso anulado, situación que debe tenerse en cuenta como contraindicación o precaución importante.

El mecanismo de termorregulación más inmediato consiste en realizar una vasodilatación —*fundamentalmente superficial, pero también profundo*— en la zona, con el fin de aportar abundancia de sangre que la refrigere, trasladando la caliente a otras zonas con gradiente térmico más bajo mediante un volumen de riego local más alto de lo normal.

Si esta «refrigeración», mediante el riego superficial a través de la piel y otras zonas profundas próximas, no fuera suficiente para mantener los 37 °C, el sistema nervioso desencadenará sudoración a fin de refrigerar, con mayor eficacia, la piel mediante evaporación, conservando la vasodilatación.

En caso de fracasar ambas medidas, se iniciaría una vasoconstricción paradójica y sudor frío. Debemos evitar que aparezca la sudoración y vasoconstricción. Además, si el sistema circulatorio se mantiene sometido a efectos del calor durante bastante tiempo, se producirá fatiga en la vasodilatación, conduciendo a una dilatación descontrolada, se lesionarán las venillas y se extravasarán los elementos formes de la sangre, apreciadas como pequeñas petequias o las denominadas «cabritillas» que se detectaban en las mujeres costureras, por mantenerse horas ante los braseros.

Entonces, la dosis empleada debe adecuarse como para que el organismo, con respuesta de simple vasodilatación, sea capaz de refrigerar la zona durante el tiempo suficiente como para no fatigar a la fibra lisa de los sistemas circulatorios sanguíneo y linfático.

*En las siguientes figuras quedará indicada gráficamente la respuesta habitual de un organismo en cuanto a su vasodilatación por causa del aumento térmico en los tejidos, como mecanismo de termorregulación, de acuerdo a los distintos niveles de termoterapia y al tiempo de aplicación.*

Según esto, los mejores tiempos de aplicación de alta frecuencia térmica vienen dados por la coincidencia con el inicio de fenómenos fisiológicos no buscados, como la vasoconstricción, la sudoración o la vasodilatación descontrolada.

Si aplicamos el nivel I (Fig. XIII. 17), no perceptible, de forma constante, la generación de calor resultará muy baja, lenta y poco ascendente. De aparecer respuesta «refrigeradora», se manifestaría al cabo de un tiempo considerable, siendo, además, débil.

Esto justifica que la magnetoterapia y la alta frecuencia pulsátil atérmica se indiquen durante tiempos próximos a la hora o más.

Aunque no obtengamos estímulo térmico perceptible por los termorreceptores, el neurovegetativo controla el aumento metabólico con precisión, sin necesidad de que aparezca el estímulo térmico a nivel consciente.

Ante un grado II (Fig. XIII. 18), ligeramente perceptible, la cantidad de calor generado es mayor y de ascenso más pronunciado, por consiguiente, el neurovegetativo se pondrá en acción con más rapidez y eficacia. Más de 30 minutos de sesión no serían adecuados, ya que comenzaría la sudoración y ligera vasoconstricción que acompaña sinérgicamente a la contracción de la musculatura lisa de las glándulas sudoríparas.

Ante un grado III (Fig. XIII. 19), moderado, la vasodilatación se consigue en relativamente poco tiempo, entre los 10 y 15 minutos. Se mantiene el máximo efecto; y después

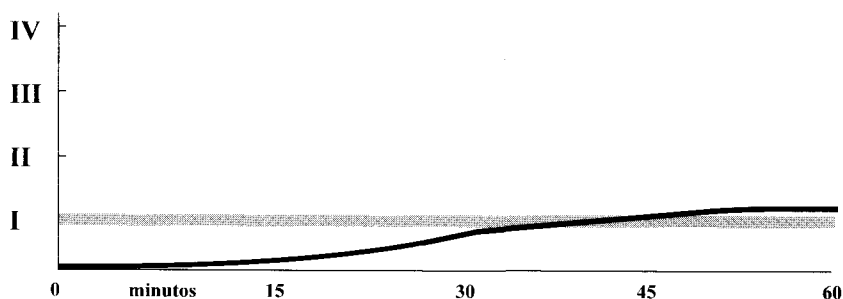


Figura XIII.17.

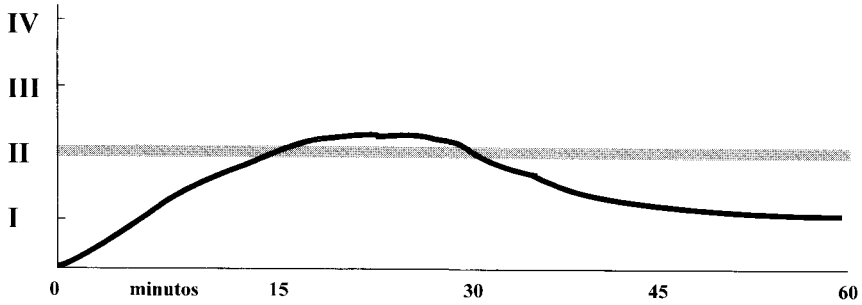


Figura XIII.18.

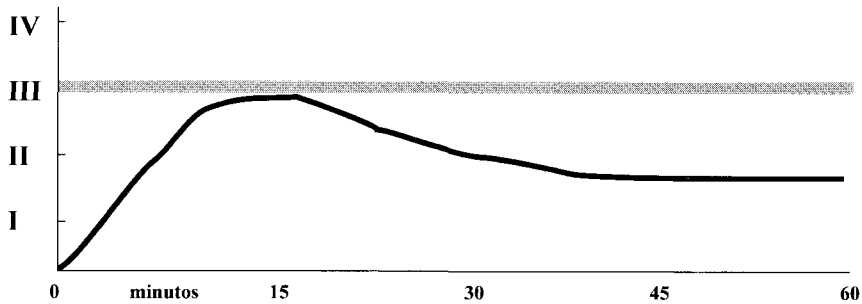


Figura XIII.19.

de los 15 minutos darían comienzo las respuestas no buscadas. Por esto, nos quedaremos en 15 minutos como tiempo medio recomendado.

El grado IV (Fig. XIII. 20), sensación de calor casi sofocante, desencadenará, rápidamente, vasodilatación refrigeradora de la zona, pero, a pesar de ello, no será suficiente para liberar todo el calor generado localmente, con lo cual el organismo después de un tiempo de 5 a 10 minutos como mucho, provocará la sudoración y vasoconstricción paradójica. Al utilizar el nivel IV, se buscarán objetivos desencadenantes de intensas respuestas vasodilatadoras y, una vez conseguidas, se retirará la aplicación transcurridos 5 a 10 minutos.

**No debemos caer en la aplicación estandarizada de «siempre los 20 minutos, la media hora, o los 10 minutos», de acuerdo con los gustos, hábitos viciados o preferencias del**

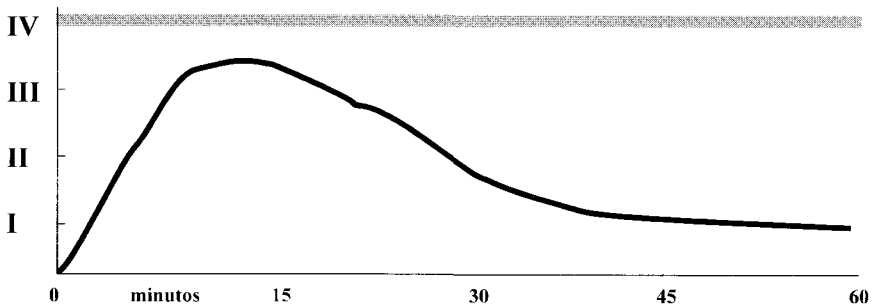


Figura XIII.20.

terapeuta. Necesitamos contar con los objetivos a conseguir, la respuesta del paciente, el estado fisiopatológico del neurovegetativo en el paciente, el instrumental utilizado, etcétera.

## Alta frecuencia atérmica

Cuando utilizamos esta expresión, habitualmente pensamos en aplicaciones pulsátiles de alta frecuencia en lugar de aplicaciones de forma continua (Fig. XIII. 21).

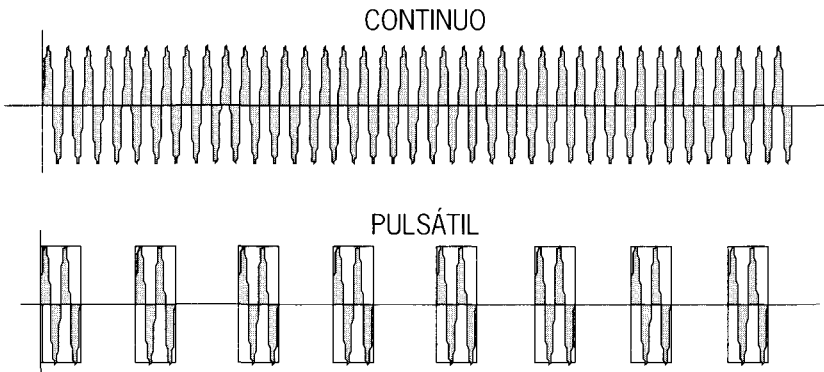


Figura XIII.21.

Antes de avanzar más, debemos poner en claro que **alta frecuencia atérmica** no siempre es aquella que produce tan poco calor como para no ser detectado por los termorreceptores, a causa de hacerlo en modo pulsado. Sin embargo, el grado I de alta frecuencia continua es una aplicación atérmica. Ciertas aplicaciones pulsátiles pueden ser, también, térmicas, aunque en la mente de muchos profesionales se asocian las aplicaciones pulsátiles únicamente con atérmicas.

En su momento, se diseñaron equipos que por hacer interrupciones en la alta frecuencia, el efecto fundamental provocado fue la **reducción de la potencia media aplicada** por debajo de los 30 W para evitar los efectos de la clásica continua o térmica.

Se aplica la fórmula de la potencia media y se establecen unas características técnicas limitadas a:

- la aplicación siempre será pulsátil;
- la potencia de pico en cada pulso no superará los 250 W;
- la anchura de pulso no superará 0,1 ms;
- la frecuencia de pulsos no superará los 1.000 Hz:

$$W_m = W_p \cdot T_{imp} \cdot F_{Hz} \text{ (Fig. XIII. 22)}$$

Así, aplicando esta fórmula, se conseguirán siempre valores inferiores a 30 W de potencia media, **siempre que se utilicen electrodos normales y no pequeños.**

Por otra parte, parece ser que se producen efectos fisiológicos sobre la materia viva distintos a los calóricos tratados más adelante. No obstante, a los pulsos de alta potencia se les «atribuyen» efectos nuevos.

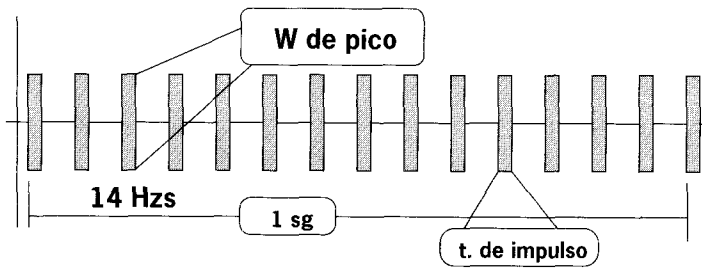


Figura XIII.22.

Dicen: «alta frecuencia atérmica pulsátil está indicada en los procesos agudos, contraindicados para la térmica», ya que:

- mejora el nivel de polarización de membrana;
- recompone proteínas y sus cadenas;
- mejora la reproducción celular;
- fuerte efecto antiálgico;
- reabsorción de edemas;
- cicatrización rápida de heridas;
- reabsorción rápida de hematomas;
- estimulación potente de la circulación periférica.

Por mucho que los fabricantes intenten sustituir los equipos de continua (normalmente de térmica) por éstos, los fisioterapeutas sabemos, por la práctica cotidiana, que los efectos fisiológicos antes dichos requieren de tiempos muy largos de exposición y nunca son los resultados tan claros como en las aplicaciones térmicas. Pero no se puede negar su efectividad, pues siempre que apliquemos energía al organismo, éste la absorberá y transformará en otra útil para su propio metabolismo. Para qué aplicar 10 sesiones atérmicas si con 1 térmica conseguimos lo mismo, salvo en casos no indicados para calor.

Dado que trabajamos en situaciones sin parámetros mensurables por lo que se refiere a la dosis (ni tan siquiera aportaciones subjetivas del paciente) cuando aplicamos atérmica, siempre nos ronda la duda acerca de si el tiempo es suficiente o excesivo, la energía aportada en potencia bastante o excesiva, «estará en correcto funcionamiento el aparato o averiado», la confusa información de los pacientes acerca de lo que detectan es digna de tener en cuenta o no será fiable, etcétera.

Ante la aplicación térmica, partimos de la referencia, aunque subjetiva, de la situación en la que el paciente comienza a sentir calor (grado II), de manera que, si descendemos ligeramente la potencia, pasamos al grado I, inmediatamente por debajo del límite del II. Pero, en la atérmica, donde nunca podemos alcanzar el grado II y bajar un poco, no sabremos si estamos muy alejados del límite térmico, próximos, si dicho límite resulta insuficiente, suficiente. Resumiendo, es un mal sistema para dosificar de forma fiable.

Es recomendable ajustar la potencia de la frecuencia atérmica elevándola hasta la percepción térmica del paciente y reducir hasta que desaparezca la sensación de calor. En deter-

minados pacientes, como los que padecen algodistrofia simpático refleja, potencias muy reducidas y alejadas del límite térmico provocan una importante sintomatología de dolor.

### CONTROL DE LA POTENCIA CON PULSÁTIL

Dado que la *alta frecuencia pulsátil* consiguió cierto renombre, se mantiene sistema de pulsada, que no tiene nada que ver con la atermia; simplemente, se introducen interrupciones que mantienen la potencia a niveles térmicos o se utilizan sistemas de pulsante para controlar la potencia aplicada, pero con una potencia media que cubre perfectamente todos los grados de térmica y el grado I atérmico.

Si además se forman trenes de pulsos, como suele ocurrir habitualmente, y, por otra parte, cada casa diseña su equipo con estilo propio de trabajo sin homogeneizar con otros, nos podremos encontrar ante multitud de sistemas que complican y confunden al profesional que no domina al máximo la técnica. Podemos mostrar un ejemplo de trenes y su forma de regularlos (Fig. XIII. 23):

- 3 de 3 partes de 1 segundo;
- 2 de 3 partes de 1 segundo;
- 1 de 3 partes de 1 segundo.

Para calcular la potencia media en trenes formados por pulsos, se multiplicará la potencia media obtenida según la fórmula enunciada para los pulsos por la fracción escogida. Veamos un ejemplo donde aplicamos trenes de 2 de 3.

Hallemos la potencia media de:

- 1.000 W (pico);
- 100 Hz;
- 200  $\mu$ s de impulso;
- 2 de 3 partes de 1 segundo.

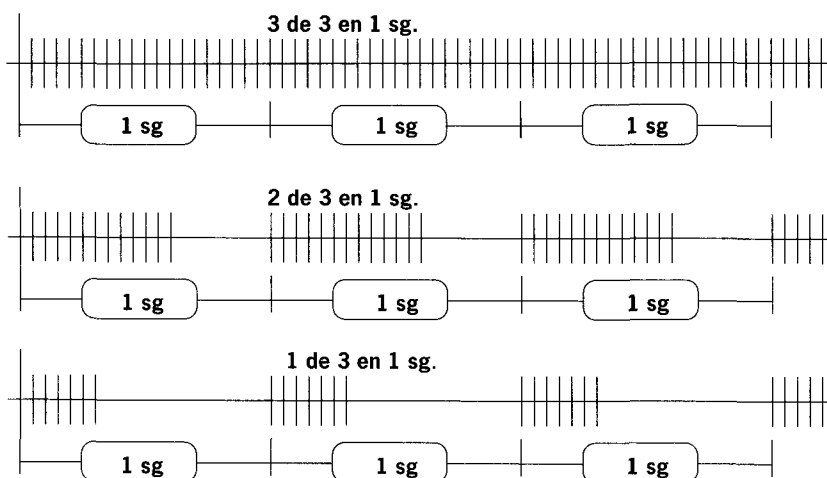


Figura XIII.25.



$$W_{(\text{media})} = W_{(\text{de pico})} \cdot F_{(\text{Hz})} \cdot t_{(\text{de impulso})} \cdot (2/3) = \frac{1.000 \cdot 100 \cdot 0.000200 \cdot 2}{3} = 13,33W_{(\text{eficaz})}$$

Según lo expuesto, disponemos de:

- **continuo**
  - térmico (grados II, III y IV) y
  - atérmico (grado I, subliminal).
- **pulsátil**
  - térmico (la potencia media es capaz de generar calor) y
  - atérmico (la potencia media no puede generar calor perceptible).

### GENERACIÓN DE CALOR CON PULSOS

La generación de calor en los tejidos, cuando aplicamos alta frecuencia continua, es constante, sin paradas. Pero, cuando se producen interrupciones, la energía conseguida en un instante tiende a disminuir lentamente durante el reposo, aunque el siguiente pulso consigue elevar de nuevo el nivel que restaba (Fig. XIII. 24).

Dependiendo de que este efecto tienda a mantener la generación mayor que la eliminación, lentamente aumentará el acúmulo de calorías y su correspondiente temperatura. Si, por otra parte, predomina la refrigeración sobre la generación, el aporte será mínimo (fenómeno característico de la **alta frecuencia pulsada atérmica**) (Fig. XIII. 25).

No conviene olvidar que existen procesos patológicos en los que se manifiesta un trofismo excesivo con su consiguiente exceso de energía, situación en la que otro aporte energético (por reducido que fuese) agravaría más la patología. El frío actuaría como magnífico antiinflamatorio por eliminación de calorías en lugar de aporte.

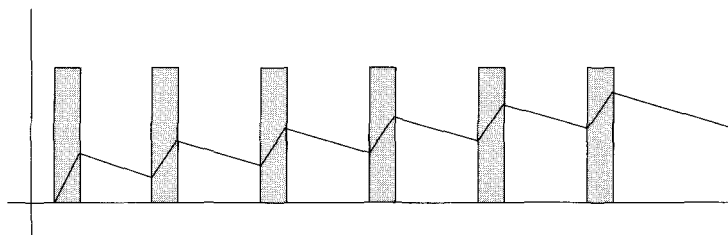


Figura XIII.24.

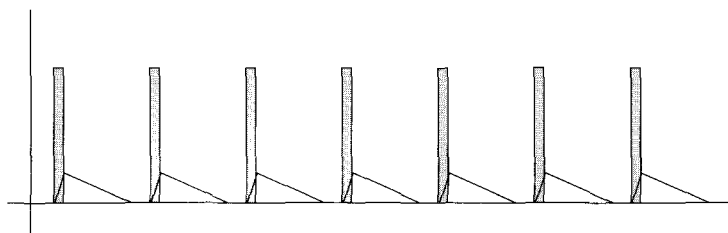


Figura XIII.25.

En otras circunstancias, el metabolismo no es adecuado por deficiencias en su transformación energética, aunque el proceso inflamatorio se mantenga de forma considerable. Un cierto nivel de aporte energético contribuiría a reducir satisfactoriamente las deficiencias que el organismo por sí solo no es capaz de resolver.

Podemos hacer referencia a los procesos energéticos para que la bomba de **sodio/potasio** y otras completen su ciclo. Puede ocurrir que, debido a la patología (aunque persista la inflamación alta), la síntesis de ATP no se pueda concluir por falta de ADP o por deficiente movimiento Browniano, situación que podemos resolver con aporte energético moderado y que no acentúe la inflamación.

Son situaciones intermedias en las que no se muestra una inflamación aguda e intensa ni tampoco se ha cronificado el proceso. En estos estadios de la enfermedad, es recomendable probar resultados con frío, alta frecuencia atérmica o alta frecuencia térmica en grado (I o II). Ante la duda para decidirse por el calor o el frío, una solución útil y rápida la aportan los test de kinesiología.

## Efectos fisiológicos

Cuando apliquemos alta frecuencia *térmica*, el organismo humano responderá con las siguientes manifestaciones:

- aumento de la temperatura en la zona;
- activación del sistema nervioso vegetativo;
- respuesta del mecanismo de autorregulación térmica;
- hiperemia y vasodilatación;
- licuación del líquido intersticial por extravasación de agua;
- renovación del líquido intersticial;
- alcalinización del ambiente biológico de la zona;
- eliminación de residuos metabólicos;
- mejora en nivel de polarización celular;
- analgesia en dolores de origen bioquímico (también en mecánicos y neurálgicos de forma indirecta);
- aumento de la temperatura general (después de haber pasado un cierto tiempo de la sesión);
- relajación muscular:
  - por vía refleja sensitiva;
  - por aliviar el dolor;
  - por eliminar residuos metabólicos;
  - por aumento del aporte energético.
- diapédesis de elementos de defensa en la zona afectada;

- licuación de geloides y edemas densos;
- eliminación de edemas (locales) por vía linfática y sanguínea. **El edema generalizado en un miembro por compromiso trombótico o flebítico será una contraindicación.**

Entrando en un análisis más detallado se pueden clasificar según el medio o sistema en que se influye:

- 1) **Sistema nervioso sensitivo.**
- 2) **Sistema nervioso vegetativo.**
- 3) **Electroquímica de los tejidos.**
- 4) **Sistema nervioso motor.**

1) **Procesos sensitivos.** Las terminaciones nerviosas sensitivas (termorreceptores) transmiten información de aumento del calor en la zona:

- si es débil, se desencadenará respuesta de **sedación y termorregulación**;
- si es excesivo, desencadenará respuesta de **defensa y termorregulación**.

2) **Procesos vegetativos.** El sistema neurovegetativo responde con vasodilatación local para refrigerar la zona, tratando de impedir que se superen los 37 °C. Si el calor generado es excesivo, fracasará la termorregulación y corremos el riesgo de producir daños celulares (hemos saturado el sistema biológico).

La cantidad de calor generado hará que la vasodilatación sea mayor o menor, de manera que:

- ante un calor *suave* (baja potencia) la vasodilatación es controlada y los vasos evacúan con eficacia;
- ante un calor *medio* (potencia moderada) los vasos sanguíneos y linfáticos pueden responder perfectamente al trabajo exigido **si el medio no sufre alteración importante o destrucción del propio sistema circulatorio**. Pero, si la zona está soporoso un edema severo, fracasarán ambos sistemas evacuadores;
- ante un calor *intenso* (alta potencia) corremos el riesgo de que sendos sistemas circulatorios fracasen (incluso contando con las mejores condiciones ambientales), dando lugar a extravasaciones y encharcamientos de líquido intersticial con su lógica alteración iónica, desencadenante, cuando menos, de dolor.

Concluiremos que, cuando nos hallemos ante procesos edematosos, el organismo debe recibir poca energía. **En procesos inflamatorios agudos** («itis»), está contraindicado el calor porque suele resultar más eficaz la aplicación de frío. Ante inflamaciones crónicas con edema y fibrosis, suministraremos un calor suave que restablezca el riego y fuerce al neurovegetativo a una respuesta de mayor eficacia.

Ante situaciones en las que podemos dudar sobre la indicación del calor o el frío, tendremos que probar ambos, pues con frecuencia nos llevamos sorpresas, aunque no deben ser tales. Como norma general, consideraremos que en procesos con el metabolismo alto y elevada actividad neurovegetativa acentuaremos los síntomas. Será el frío el antiinflamato-

rio más adecuado (situación coincidente con procesos agudos). Pero, si la patología local necesita de reactivación metabólica para normalizar su función, le aportaremos energía que reactive el metabolismo de la zona.

**Ante tejidos orgánicos degenerados** (procesos de «osis») habitualmente se debe a mala circulación y poco aporte nutritivo en la zona. La alta frecuencia térmica ofrece en este campo grandes indicaciones sobre tejidos y zonas tales como:

- zonas esclerosadas;
- fibrosis capsulares;
- viejas contracturas;
- bolsas de geloides;
- zonas isquémicas;
- cartílagos artrósicos, etcétera.

Son circunstancias en las que se requiere calor intenso, grado III o IV, aunque sin molestia, durante un tiempo de 5 a 10 minutos para forzar la vasodilatación y sus efectos, reactivando el trofismo y el metabolismo celular.

**3) Procesos electroquímicos de los tejidos.** La vasodilatación permite el intercambio de líquidos y sustancias plasmáticas que transforman la química local:

- regulando el pH;
- produciendo reequilibrio iónico;
- repolarización de membrana;
- reactivación de la bomba sodio-potasio;
- mejora del metabolismo;
- mejora de la función celular;
- reabsorción de catabolitos;
- diapédesis de elementos de defensa y fagocitarios;
- transformación de las disoluciones orgánicas de gel a sol.

Si el calor generado es excesivo, las respuestas serán intensas, con riesgo de alterar e invertir la función normalizada. **Es preferible pecar por defecto en la potencia, aunque se requiera más tiempo en la sesión.**

**4) Procesos de tensión muscular.** Si la sensación de calor es agradable, sedante y no agresiva, provocaremos una reactivación del *parasimpático*. Sin embargo, si la sensación de calor es quemante, provocaremos un predominio del *simpático*.

Cuando domina el parasimpático se produce:

- sopor;
- sedación general y
- relajación muscular.

En tanto que si es el simpático, aparecerán:

- dolor;
- enervación e irritación general, y
- contractura muscular de defensa.

El número de sesiones no debe ser indefinido. Retiraremos la técnica cuando se aprecie que hemos alcanzado el objetivo propuesto. Si después de haber realizado 4 ó 5 sesiones no apreciamos respuesta terapéutica, debemos pensar en cambiar de táctica porque ésta avanza por camino erróneo. Aplicar 15 ó 20 sesiones protocolizadas a todos y para todo indica una gran falta de profesionalidad y la consecuente pérdida de respeto de los pacientes hacia los terapeutas, ya que estos pacientes entienden que ese tipo de tratamientos implican rutina y bajo interés del profesional al que acuden.

## Indicaciones

- Dolor químico.
- Dolor isquémico.
- Contracturas musculares.
- Inflammaciones crónicas.
- Edemas de poca intensidad.
- Procesos artrósicos articulares.
- Procesos artríticos no agudos.
- Procesos degenerativos a causa de trofismo insuficiente.
- Algodistrofia simpático refleja (con suministro muy bajo de energía).

## Precauciones

- Comprobar que el paciente conserva la sensibilidad térmica.
- Poner especial atención al tratar ancianos, pues es sabido que pierden con la edad la percepción térmica y sus mecanismos de termorregulación.
- Controlar adecuadamente el nivel de calor aplicado para cada indicación.
- Decidir la modalidad más conveniente para cada caso (onda corta o microonda).
- Cuidados en las denervaciones parciales (dosis baja).
- Tener en cuenta osteosíntesis metálicas cercanas.
- *Aplicar de forma moderada en los casos que se prevea roturas de tejido y consiguiendo destrucción parcial de los vasos circulatorios.*
- *No colocar los electrodos en contacto con la piel para no impedir la ventilación y la liberación del calor generado en superficie.*

- Despejar la zona de prendas de vestir, fundamentalmente tejidos sintéticos.
- **En la onda corta, aislar y alejar al paciente de materiales conductores y no tocarle durante la sesión.**
- Controlar y valorar los procesos de inflamación y derrames articulares.
- Controlar los procesos de osteoporosis.
- Controlar el proceso de los **callos óseos**, debido a la creencia atribuida a esta terapia (discutida) referente a su capacidad de arrastre de calcio fuera de la zona de callos incipientes.
- En mujeres, considerar si están embarazadas o en período de menstruación para evitar la aplicación directa o próxima a la zona afecta. En caso de dispositivo intrauterino, evitar aplicaciones en las que las ondas electromagnéticas invadan el útero.

En esta técnica debemos indicar al paciente que nos avise si percibe que la corriente le quema, si le aparece dolor o cualquier otra sensación desagradable. Debemos explicarle lo que sentirá y cómo protegerse ante situaciones inesperadas en la evolución de la sesión; por ejemplo: si le quema, que se retire o retire el electrodo.

No es extraño encontrarnos con pacientes tímidos que en la primera sesión soportan dosis excesivas o quemantes porque, pensaban, que «tenía que ser así» o que «cuanto más caliente, más repara».

## **Exploración y preguntas protocolarias a los pacientes antes de aplicar termoterapia profunda de alta frecuencia**

Exploración en la zona buscando:

- cicatrices de intervenciones;
- procesos inflamatorios agudos;
- derrames;
- parálisis;
- edemas;
- valorar la indicación y su dosis adecuada;
- roturas tisulares;
- fracturas, etcétera.
- ¿Sufre de parestesia o parestesia en la zona?; ¿siente el calor? Realizar una prueba sobre la zona con dos objetos, uno frío y otro caliente.
- ¿Tiene metal en la zona por alguna intervención quirúrgica?
- ¿Tiene fiebre durante las últimas fechas?
- ¿Está tomando algún anticoagulante?
- ¿Es usted hemofílico?

- ¿Ha padecido alguna enfermedad infecciosa, pulmonar o con accesos?
- ¿Padece algún proceso tumoral?
- ¿Tiene la menstruación?
- ¿Tiene algún dispositivo intrauterino?
- ¿Está embarazada?

## Contraindicaciones

- Procesos inflamatorios agudos.
- Implantación de dispositivos intrauterinos (en aplicaciones sobre la zona).
- Durante la menstruación (si afecta a la zona).
- Sobre osteosíntesis y endoprótesis metálicas.
- Procesos de calcificación incipientes.
- Procesos infecciosos y abscesos purulentos (salvo cuando pretendamos su explosión).
- Tuberculosis activa e inactiva.
- Procesos tumorales (aunque se ha utilizado la alta frecuencia térmica intensa para destruir tumores).
- Evitar el *Sistema Nervioso Central*.
- Denervaciones totales.
- Ganglios linfáticos infartados.
- *No aplicar en los ojos*, dado que el calor generado en el humor vítreo produce cataratas a largo plazo y aumento excesivo de la presión intraocular en el tiempo de aplicación.
- *No aplicar en los oídos*, por semejantes razones a las del ojo al hallarse líquidos contenidos en cavidades no elásticas, con el consiguiente riesgo compresivo para las terminaciones nerviosas.
- No invadir el corazón ni marcapasos implantados sobre dicho órgano.
- No aplicar en hematomas, roturas tisulares ni derrames recientes y agudos.
- No aplicar en *tromboflebitis* (puede liberar y diluir parcialmente coágulos o trombos).
- No aplicar en testículos (condición sometida a polémica, dado que puede resultar muy útil como tratamiento adecuadamente controlado e indicado).
- No aplicar durante procesos de gestación.
- No aplicar cuando exista fiebre.
- No aplicar en hemofílicos.
- No aplicar en tratamientos con anticoagulantes.

— No aplicar en articulaciones con:

- artritis sépticas;
- artritis reumatoidea durante los brotes;
- artritis y artrosis en brotes agudos;
- derrames articulares (cuando menos, vigilar su evolución).

— Precauciones especiales cuando se aplique alta frecuencia sobre o cerca de las glándulas hormonales.

## Onda corta

La **onda corta** es una de las dos principales variantes o metodologías para aplicar alta frecuencia. La diferencia con la **microonda** se basa fundamentalmente en:

- el método de aplicación;
- manejo de los electrodos; y que
- el calor generado es distinto al de la microonda.

El diferente manejo y metodología de aplicación se debe a que la onda corta trabaja con:

- campo de condensador;
- campo de turbulencia electromagnética y
- campo de inducción.

El campo de condensador consiste en dos placas entre las que se introduce la sección corporal que se va a tratar (Fig. XIII. 26A). El campo de turbulencia es generado por una bobina situada dentro de un cabezal, de forma que al acercarla al organismo, éste quedará influido por las líneas de fuerza del campo electromagnético (Fig. XIII. 26B). El campo de inducción es el generado en el interior de una bobina, la cual está formada por un cable diseñado expresamente para enrollarse sobre la zona tratada (Fig. XIII. 26C).

El manejo del equipo requiere de precisiones, técnica depurada, conocimiento del tema y precauciones a la hora de aplicar. El paciente debe estar aislado de tierra, no entrar en contacto con otros aparatos ni tocar mesas u otros instrumentos metálicos, ni palparle (sobre todo, en la zona próxima a los electrodos), pues las cargas generadas en el paciente pueden pasar a la persona que le toca. La camilla o sillas usadas en el tratamiento serán de madera sin herrajes metálicos (o el mínimo posible).

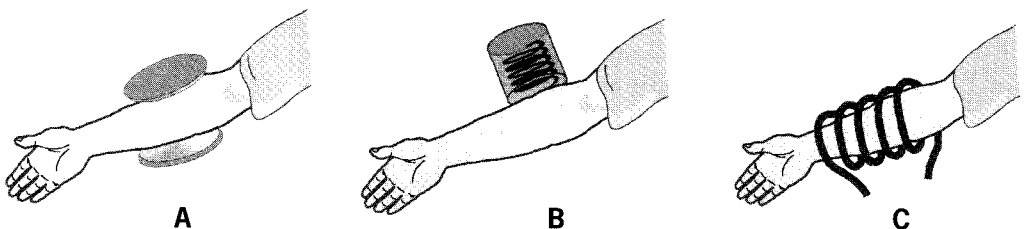


Figura XIII.26.



Estamos habituados a ver ondas cortas equipadas con dos electrodos de plato del mismo tamaño, pero realmente existen, al menos, tres tamaños en electrodos de plato, así como planchas de goma de diversas dimensiones para combinarlas indistintamente con los platos rígidos. Los electrodos de turbulencia también se suministran de varios tamaños, así como el cable de inducción (de uso poco habitual, pero muy interesante). La gama de posibilidades y manejo que nos permite la onda corta es muy amplia y consigue resultados no alcanzados por la microonda.

En cuanto a la calidad del calor generado y notado por el paciente es totalmente distinto al apreciado cuando se le aplica microonda. Con la onda corta, la sensación térmica es lenta, muy progresiva y profunda (demostrándose así la existencia de los termorreceptores profundos). De esta forma, debemos mantenernos uno o dos minutos al lado del paciente para reajustar si, fuera preciso, la potencia.

El calor generado procede de los desplazamientos iónicos a través de las disoluciones orgánicas (corrientes de convección). Por ello, se pueden liberar cargas de electrones fuera del paciente o entre dos secciones corporales tratadas simultáneamente, como las manos, las rodillas o los tobillos (Fig. XIII. 27). Para evitar el efecto de chisporroteo o pequeña quemadura, se intercala entre ambos elementos corporales un fieltro.

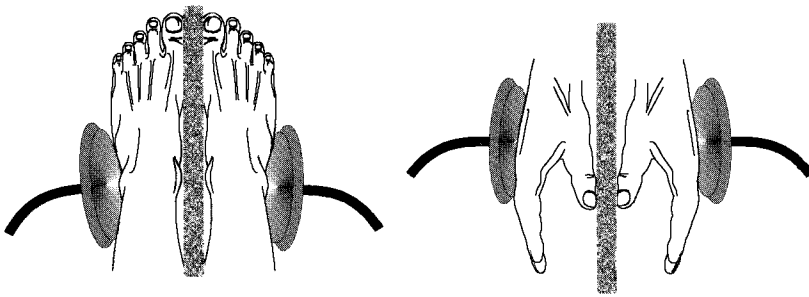


Figura XIII.27.

Haremos que el paciente se desprenda de alhajas o adornos metálicos próximos a la zona tratada, así como objetos metálicos de los bolsillos si consideramos que el campo electromagnético puede invadirlos. Los metales ante la onda corta pueden provocar arcos voltaicos no peligrosos, pero alarmantes y desagradables para el paciente.

La colocación de platos o placas en campo de condensador puede hacerse en tres formas fundamentales:

- coplanares;
- contralaterales y
- longitudinales.

En las coplanares, los dos electrodos se sitúan en el mismo plano o ligeramente angulados para adaptarse a la superficie corporal (Fig. XIII. 28A). Las aplicaciones contralaterales son las más frecuentes, enfrentando ambos electrodos, aunque se admite cierto desplazamiento entre ellos o alguna angulación para adaptarse a los accidentes corporales (Fig. XIII. 28B). Las aplicaciones longitudinales son interesantísimas, pues en ellas se consiguen profundidad y localización del efecto térmico en zonas difíciles (Fig. XIII. 28C).

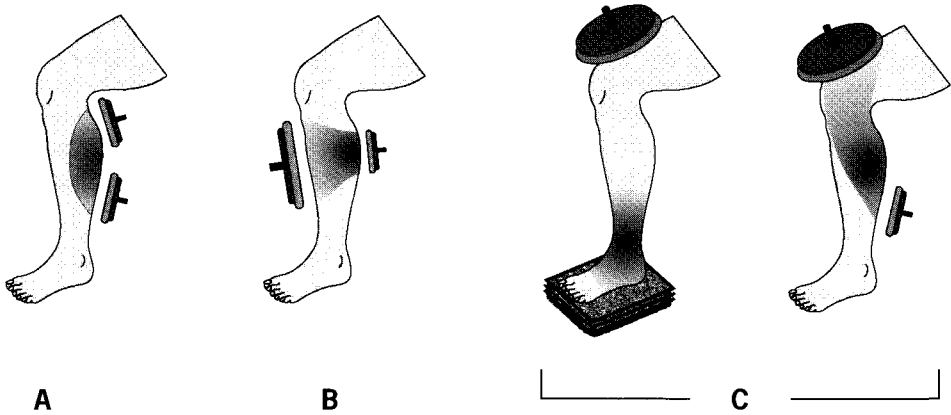


Figura XIII.28.

Con los electrodos de turbulencia (monodo, minodo, diplo, etc.) se pierde capacidad de penetración y el calor generado siempre será mayor en la superficie corporal que en profundidad. Es muy fácil de colocar, pues con aproximarlos y dirigirlos a la zona tratada (separándolos al menos 1 cm) y elevar la potencia, es suficiente. Por ello, dada su facilidad de aplicación es la modalidad más habitual de tratamiento, aunque pierde profundidad (Fig. XIII. 29), pero es semejante a la microonda.

La aplicación con cable de inducción requiere de experiencia, tiempo y paciencia, pues se debe cuidar que los extremos del cable mantengan la misma longitud, que las espiras no se toquen, que la forma de la bobina sea lo más homogénea posible, que la goma del cable no toque la piel, que la bobina se conforme sobre unas toallas o paños muy vaporosos... Por otra parte, los equipos no suelen depurarse mucho en los ajustes para trabajar con el cable de inducción y algunos sintonizan con dificultad. Es una técnica muy interesante, por conseguir un calor muy profundo, extenso y uniforme, pero bastante engorrosa de poner en práctica.

Además, existen otros electrodos pequeños para aplicaciones muy localizadas y específicas como intravaginales, intraanales, para senos nasales, etcétera.

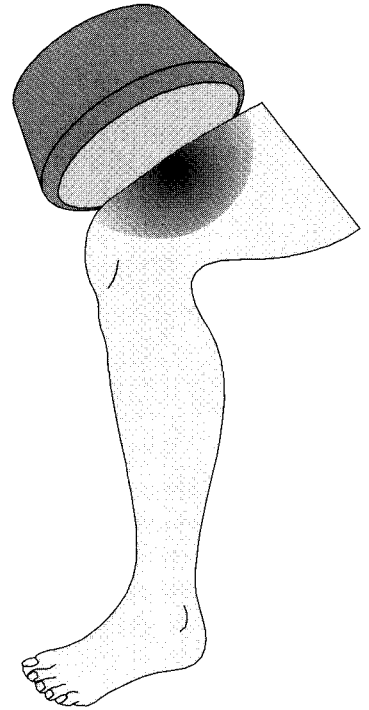


Figura XIII.29.

## Microonda

La microonda es la otra de las metodologías para aplicar alta frecuencia, y destinada a termoterapia profunda.

La generación de calor no se basa en las corrientes convectivas de las cargas eléctricas, sino que consigue la oscilación y vibración de éstas. Dicha oscilación es la productora del aumento térmico, circunstancia que permite la palpación del paciente con toda tranquilidad (incluso en la zona de aplicación bajo el electrodo).

Únicamente ofrece el método de irradiación. Consiste en una antena contenida en su reflector metálico para dirigir las ondas hacia el cuerpo, penetrando en profundidad después de superar las más superficiales, donde pierde energía en su avance.

El paciente detecta rápidamente el calor en la piel de forma muy clara, sin tener percepción térmica en profundidad (circunstancia que no implica la ausencia de termorreceptores en tejidos profundos).

Fundamentalmente disponemos de tres tipos de electrodos: el focalizado (Fig. XIII. 30A), para zonas reducidas y localizadas; el plano y alargado (Fig. XIII. 30B), para zonas alargadas; el convergente (Fig. XIII. 30C), destinado a conseguir profundidad en localizaciones corporales convexas, ya que su forma provoca la emisión de tres fuentes que convergen a cierta distancia (según el diseño del cabezal).

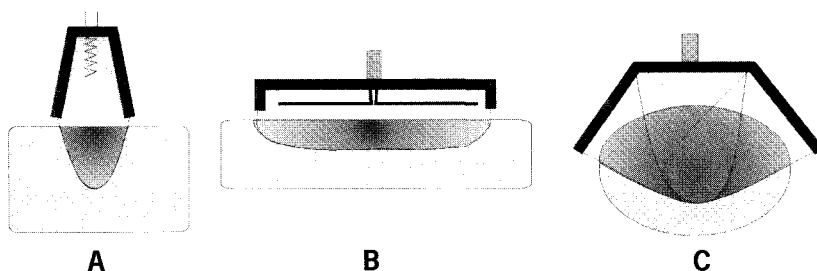


Figura XIII.50.

Existen otros electrodos pequeños para aplicaciones muy localizadas y específicas como intravaginales, intraanales, para senos nasales, etcétera.

Una ventaja que ofrece la microonda sobre la onda corta consiste en su fácil aplicación, pues basta con dirigir el electrodo hacia la superficie corporal tratando de mantener la carcasa cobertora lo más paralela posible a la piel, a unos centímetros, y elevar la potencia.

El paciente se desprenderá de objetos metálicos de adorno que sean invadidos por el campo electromagnético. Ante potencias considerables pueden provocar arcos voltaicos (menos frecuentes que en la onda corta), pero pueden calentarse y generar pequeñas quemaduras sobre la piel.

Lógicamente, el sistema de dosificación se basará en el método de los grados de percepción térmica, que no en la potencia aplicada, pues la distancia del cabezal, la potencia aplicada, el tamaño del cabezal, etc., influyen en la dosis.

Existe cierta polémica cuando se comparan ambos sistemas, onda corta con microonda, fundamentalmente con respecto a la penetración. Para no contribuir más a la confusión, veamos un fenómeno electrofísico que se pone de manifiesto ante ambas modalidades: el efecto serie y el paralelo.

En la microonda, siempre se da el efecto serie, mientras que en la onda corta, y con campo de condensador, trabajan ambos simultáneamente, pero en las aplicaciones longitudinales predomina el efecto paralelo.

### EFECTO SERIE

Cuando las ondas de alta frecuencia pasan de un medio orgánico a otros sucesivos, las ondas se reflejan, se refractan y pierden energía en el medio de mayor resistencia que dejan atrás, de forma que, cuando alcanzan las zonas más profundas, lo hacen con pérdida de potencia. Esta situación provoca (en general) que las zonas más superficiales sean las más calentadas (Fig. XIII. 31).

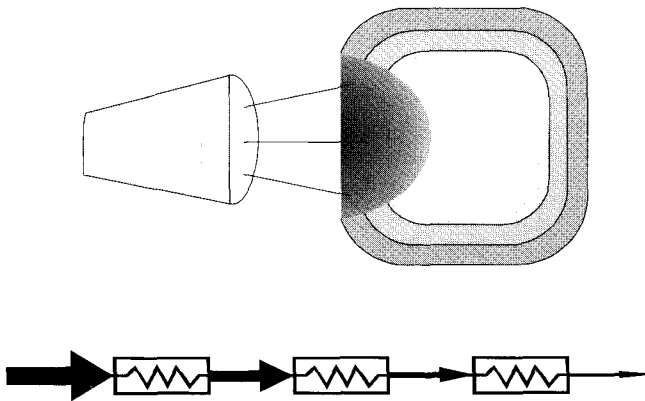


Figura XIII.31.

### EFECTO PARALELO

Cuando las ondas transcurren por varios medios de forma que unos se encuentran al lado de otros (paralelos), las ondas tienden a circular y concentrarse en el tejido de menor resistencia, generando también mayor trabajo en forma de calor (Fig. XIII. 32).

Supongamos una aplicación longitudinal de onda corta en campo de condensador entre la rodilla y la planta del pie. Los tejidos que se encuentran próximos a los electrodos soportarán la invasión de alta frecuencia con mayor intensidad que otros más lejanos. Con grandes electrodos, la zona de penetración es amplia y la densidad de energía por unidad de superficie es baja. Cuando circulan a lo largo de la pierna por zonas estrechas (tobillo), la densidad de energía es muy alta y, en consecuencia, también la generación térmica (ver detenidamente la figura XIII. 28).

Normalmente (aunque depende del tamaño de electrodos y forma de aplicación) se sentirá más generación de calor en los tejidos intermedios de la pierna que en la rodilla o en el pie. Si deseamos alcanzar profundidad, los tratamientos deben disponerse para trabajar en modo paralelo, es decir, aplicaciones longitudinales.

Si en este tratamiento los electrodos fueran pequeños, la concentración de calor se apreciaría en las proximidades de éstos, pero como el efecto buscado es el paralelo, los elec-

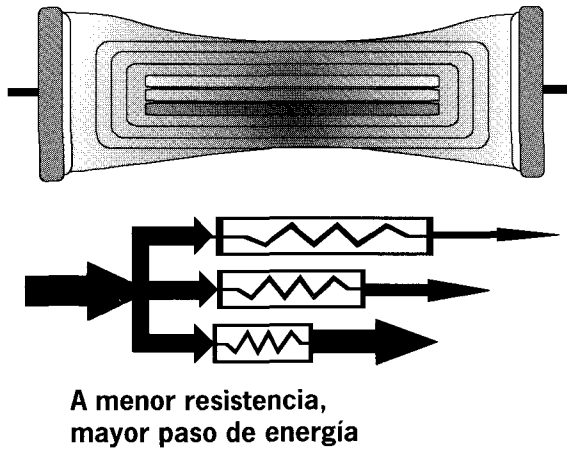


Figura XIII.52.

trodos deberán ser grandes para inyectar gran cantidad de energía por amplias zonas, evitando la concentración de alta frecuencia en zonas próximas a los electrodos.

Tanto en la aplicación en forma *serie* como *paralelo*, el calor generado se produce por el referido efecto Joule según la fórmula:

$$C = 0,24 \cdot Z \cdot I^2 \cdot t_{(\text{en segundos})}$$

- En el caso *serie*, al variar la «Z» (impedancia), el producto de las calorías generadas aumenta o disminuye de forma directamente proporcional.
- En el caso *paralelo*, al variar la «I», el producto de las calorías generadas aumenta o disminuye de forma directamente proporcional al cuadrado de la intensidad.

Esto nos resuelve la polémica acerca de si penetra más la onda corta o la microonda, pues más que de la capacidad de penetración, depende del sistema de trabajo. La onda corta, por predominar en ella el campo de condensador, trabajará predominantemente como *paralelo* (sin olvidar que en las proximidades de los electrodos siempre lo hará en *serie*). La microonda siempre se irradia y penetrará en los tejidos profundos en *serie*.

Por otra parte, dicese que, a menor longitud de onda, mayor penetración; pero no son comparables, dado que los comportamientos electrofísicos de la materia son distintos (corrientes convectivas y vibraciones moleculares). Dentro de las mismas bandas, sí influye su mayor o menor longitud de onda, pero la onda corta y la microonda no pertenecen a la misma banda del espectro electromagnético.

## Jaula de Faraday

Los equipos de alta frecuencia emiten ondas electromagnéticas en su derredor, aunque están sometidos a normativas que regulan su construcción para no superar los 10 mW/cm<sup>2</sup> a 1 metro del equipo o del cabezal en cualquier dirección, salvo en la del foco. O de 0,25 mW/cm<sup>2</sup> a 1 metro en el plano perpendicular al eje de emisión (Fig. XIII. 33).

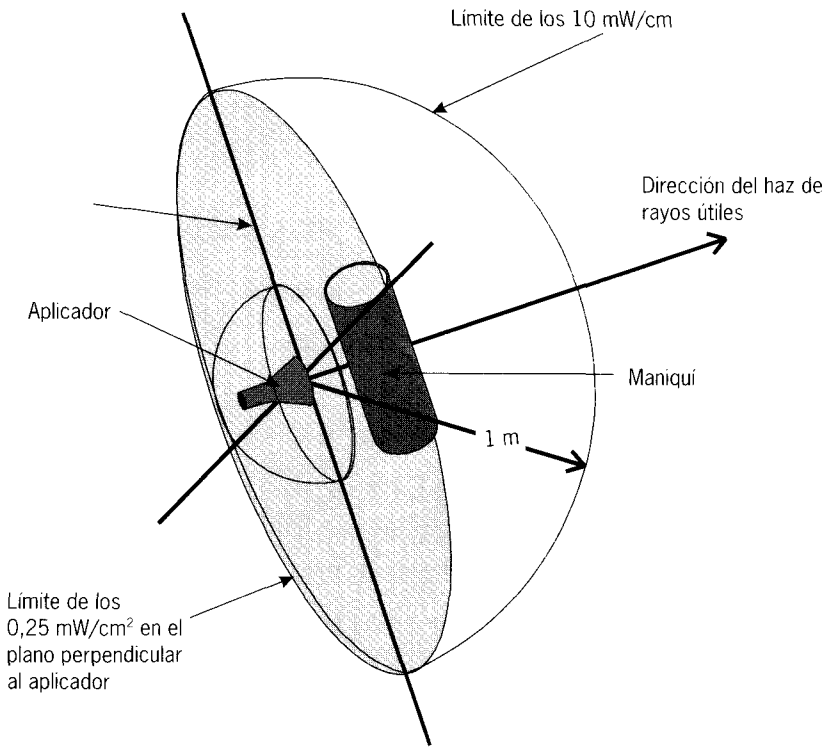


Figura XIII.55.

A pesar de ello, pueden detectarse, por equipos electrónicos próximos o en habitaciones contiguas, interferencias electromagnéticas que pueden influir de forma más o menos negativa de acuerdo con la función e importancia del equipo interferido. Para evitar esto, se puede crear un habitáculo de red metálica a modo de jaula (Jaula de Faraday) o recubrir con red metálica la habitación que contiene al equipo de alta frecuencia.

Dicha red debe estar formada por celdillas cuadradas y de menor calibre que la longitud de onda de la radiofrecuencia emitida. Así, en microonda, cuya longitud de onda es de 12,25 cm, el máximo hueco en la celdilla de la red debe ser menor que 12,25 cm (Fig. XIII. 34). La onda corta posee 11 metros de longitud de onda.

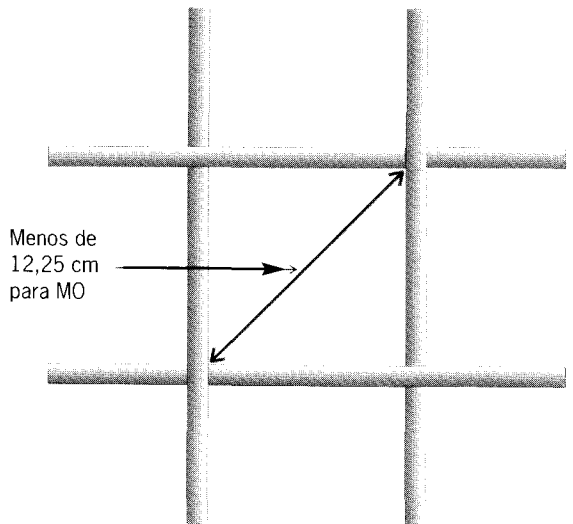
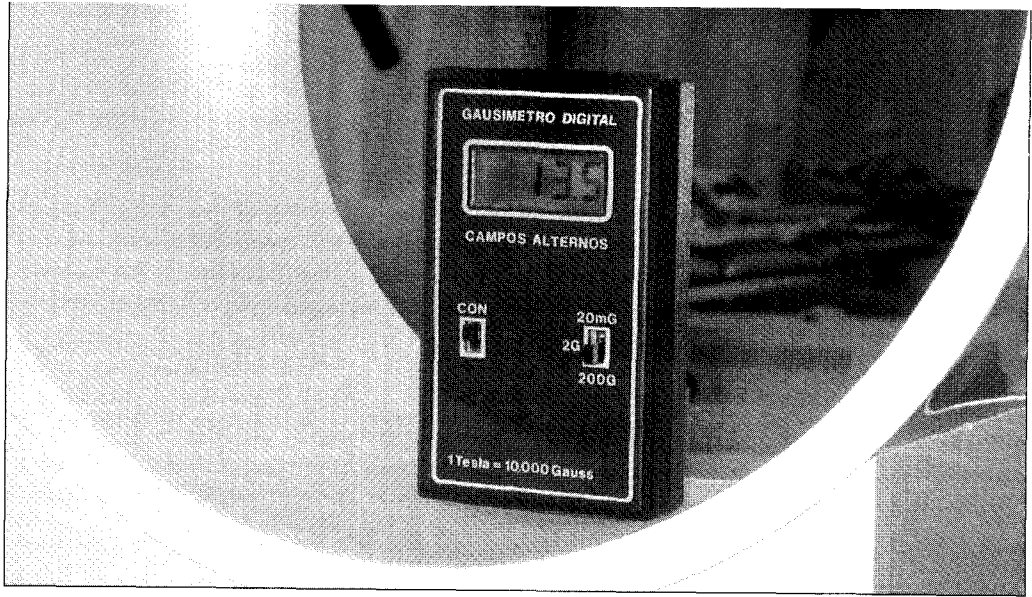


Figura XIII.54.



## CAPÍTULO XIV

# Magnetoterapia

Hasta este capítulo hemos aplicado energía electromagnética **con predominio del componente eléctrico sobre el magnético**, en el espectro de frecuencias más bajas para conseguir efectos de:

- cambios químicos en los tejidos;
- generar estímulos sensitivos en las terminaciones y fibras nerviosas sensitivas y
- provocar trabajo de contracción muscular por estímulo directo de los músculos o nervios motores.

Por otra parte, hemos visto la aplicación de alta frecuencia a fin de generar calor intraorgánico por transformación de una banda del espectro en otra (si alcanzamos solamente el grado I, se llega a conseguir calor, pero no percibido por el paciente). Con la magnetoterapia, seguimos pretendiendo la estimulación metabólica mediante el aporte energético a base de *fuerza magnética*.

*Esta técnica se debe considerar con las debidas precauciones, por sus polémicas e inexactitudes y, fundamentalmente, por no existir metodología adecuada para la dosificación. Si una de nuestras técnicas no es dosificable, no deberíamos aplicarla en tanto no se resuelva el problema.*

El ser humano y el resto de las especies que pueblan el globo están sometidos constantemente a dicha energía, ya que la tierra la genera al comportarse como un imán, es decir,

estamos habitando sobre un imán. Las influencias en nuestros metabolismos no están totalmente demostradas, aunque se especula mucho sobre el tema (tal vez excesivamente). El magnetismo terrestre es cambiante en intensidad y localización de los polos. Actualmente, se encuentra en progresiva disminución hasta su nivel cero, para volver a aparecer con inversión de polaridad, tal como ha ocurrido a lo largo de la historia del globo. En el momento que desaparezca, influirá en la ionosfera protectora de radiaciones espaciales no deseables. Parece teorizarse sobre las épocas de magnetismo cero como épocas de grandes mutaciones en las especies que poblaron y poblarán el globo por causa de la invasión de radiaciones ionizantes, pero no queda tan claro el efecto directo por la falta de líneas o fuerzas magnéticas terrestres.

Siempre que apliquemos energía magnética al organismo, diremos que tratamos con magnetoterapia, pero es habitual usar la expresión imanoterapia cuando se colocan imanes sobre la superficie corporal y magnetoterapia para los equipos que consiguen la fuerza magnética de forma artificial, tanto si lo hacen en campo continuo, alterno o pulsado.

No debemos confundir la energía magnética con la de gravitación. El magnetismo lo hallamos con sus líneas de fuerza paralelas a la superficie terrestre (sin considerar la declinación), mientras que la fuerza de gravitación se representa como líneas que se dirigen al centro del planeta y, en consecuencia, perpendiculares a la superficie.

La fuerza magnética no la detectamos ni la sentimos de forma consciente, mientras que la gravedad la percibimos como la lucha contra nuestro propio peso. Los efectos debidos al apoyo y control propioceptivo antigraavitatorio no deben confundirse con los que puedan generarse por el magnetismo.

El magnetismo es una de las dos fuerzas que forman el **conjunto de energía electromagnética**. Si el componente eléctrico se manifiesta en sentido vertical, el magnético lo dibujaremos 90° a la derecha (Fig. XIV. 1). Los dos componentes van imbricados entre sí, el

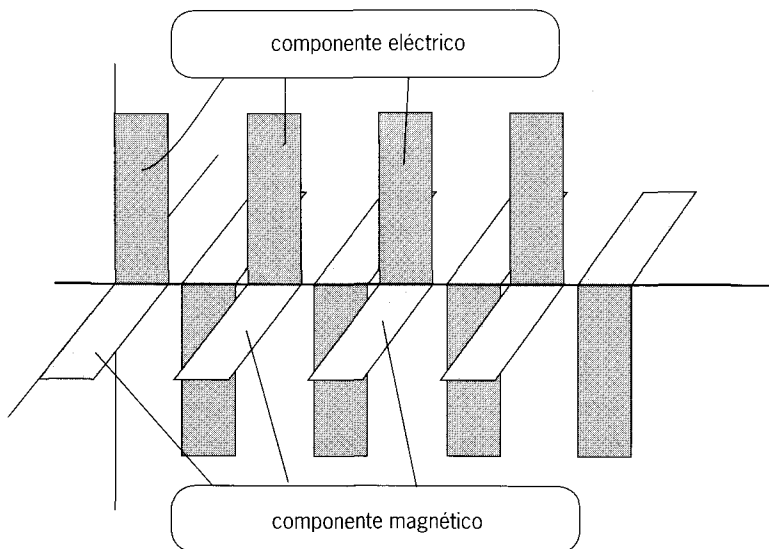


Figura XIV.1.

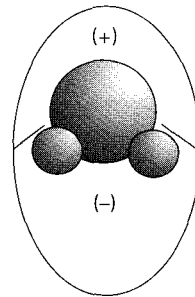


campo magnético genera fuerza eléctrica y a la inversa, pero con la condición de que ambos sean campos *variables* en sus parámetros. El magnetismo continuo (imanes) solamente orienta a los iones. La electricidad electrostática tampoco genera campo magnético, a no ser que los electrones, previamente, se hallen en movimiento.

Cuando acercamos un campo magnético al organismo, éste provocará influencias en las cargas eléctricas e iónicas del interior corporal. Así, mediante la aplicación de campos magnéticos al organismo, buscaremos producir efectos terapéuticos, que no perniciosos.

Para considerar el magnetismo como terapéutico, debemos tener en cuenta una serie de circunstancias y observaciones realizadas sobre organismos vivos, unas veces cuando se aplica campo magnético y otras en ausencia de dicho campo. En principio, partiremos de varios supuestos que nos hacen pensar en posibles formas de actuación del magnetismo sobre la materia viva:

- 1) La materia viva está compuesta fundamentalmente por multitud de elementos químicos en forma de iones y moléculas ionizadas, es decir, con carga eléctrica, digamos una molécula de agua (Fig. XIV. 2).
- 2) El magnetismo manifiesta efectos y fuerzas que actúan sobre las cargas eléctricas de los iones (Fig. XIV. 3).
- 3) Cuando aplicamos un campo magnético continuo y mantenido con una sustancia que contenga derivados del hierro, los iones de los derivados ferrosos quedan sometidos a concentración en la zona, independientemente del polo magnético, según las líneas de fuerza, proximidad e intensidad del campo magnético (Fig. XIV. 4).
- 4) Cuando se aplica un campo magnético oscilante o con interrupciones, en el momento del cambio o variación de intensidad del campo magnético, se producen, sobre la materia, reorientaciones y desplazamiento de cargas eléctricas; el norte orienta en un sentido y el sur en el opuesto (Fig. XIV. 5).
- 5) Las células del organismo están polarizadas, es decir, dentro de



DIPOLO IÓNICO  
La molécula de agua crea dos zonas de influencia eléctrica

Figura XIV.2.

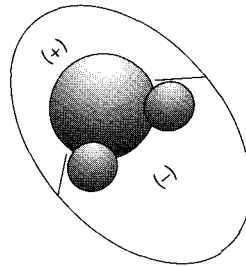


Figura XIV.5.

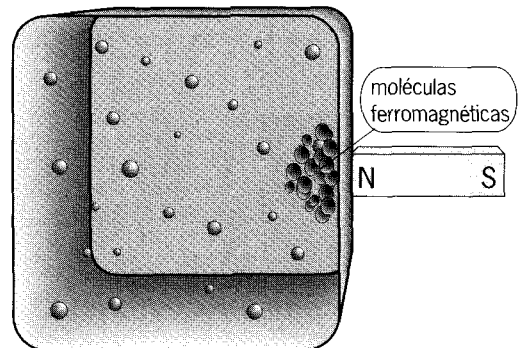


Figura XIV.4.

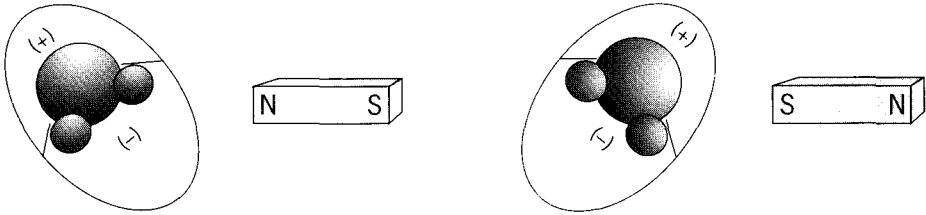


Figura XIV.5.

ellas existe una carga eléctrica, mientras que fuera la encontramos de signo contrario. La diferencia entre ambas cargas (el llamado umbral de polarización de membrana) se ve afectado por multitud de influencias químicas, eléctricas, cinéticas, magnéticas, presión osmótica, presión oncótica, etc., sobre las cuales podemos influir o interferir con magnetoterapia (Fig. XIV. 6). Luego, si somos capaces de agitar o alterar el ambiente iónico que rodea la célula, influiremos en su nivel de polarización.

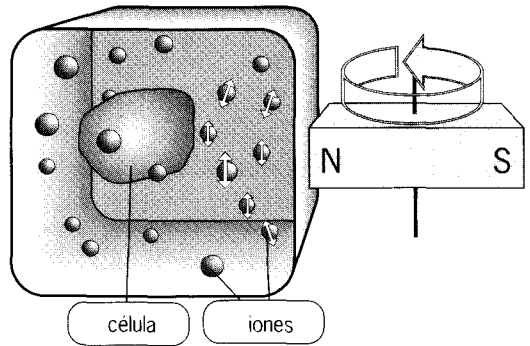


Figura XIV.6.

Observemos en la figura que, mientras el giro del imán se realiza en sentido horizontal, el desplazamiento iónico se ve alterado en el vertical.

- 6) No podemos olvidar que los iones dentro de la materia viva se hallan en constante movimiento (movimiento Browniano). Por esto, se ven sometidos a cambios en su trayectoria cuando se introducen en la influencia de un campo magnético, aunque dicho campo sea estático. Esta circunstancia consigue que se acumulen iones de una determinada carga eléctrica según que el campo magnético presente el norte (N) o el sur (S) (Fig. XIV. 7).

El polo **Norte** desvía hacia sí las cargas *negativas* (-), mientras que repele los iones de carga *positiva* (+). Y a la inversa ocurriría con el polo **Sur**. Esta propiedad se basa en el **efecto Hall**.

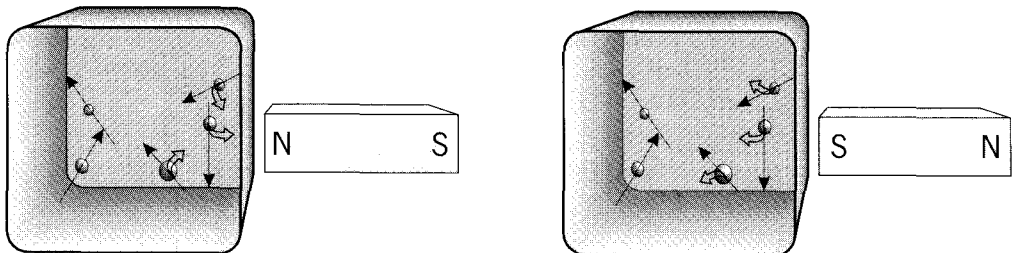


Figura XIV.7.

Si nos paramos a observar y analizar estos fenómenos, podemos iniciar un camino para establecer conclusiones o, cuando menos, entender cómo el magnetismo puede influir en el organismo.

Lo que no está tan claro son las formas de aplicar los parámetros de intensidad o fuerza con que el magnetismo actúa sobre las cargas eléctricas e iones del organismo, parámetros que nos conducirían a formulaciones o afirmaciones observables en las que basar toda una técnica fiable y que nos saque del empirismo más o menos «científico» en que nos hallamos.

La técnica exploratoria de resonancia nuclear magnética nos demuestra las influencias más arriba referidas. Pero también nos crea una importante barrera, debido a la gran diferencia de potencias empleadas, ya que en magnetoterapia se usan entre 50 y 100 Gauss, mientras que en resonancia nuclear magnética se emplean entre 0,5 y 2 Teslas (1 Tesla [T] = a 10.000 Gauss [Ga]).

Tanto el Tesla como el Gauss son medidas de *densidad de líneas magnéticas por unidad de superficie*, existiendo otras unidades de *densidad magnética* por unidad de superficie: el Weber y Maxwell (un Tesla es igual a 1 Weber/m<sup>2</sup> y un Gauss es igual a 1 Maxwell/cm<sup>2</sup>).

Supongamos que enfrentamos dos imanes de distinto tamaño, pero de igual fuerza (Fig. XIV. 8). Ambos están separados por hojas de papel conteniendo limaduras. Vemos cómo las limaduras de la derecha aparecen más concentradas (en Gauss) que en la izquierda. Se concluye que es distinta la fuerza magnética que la concentración de líneas magnéticas, aunque lo habitual es que ambos parámetros sean directamente proporcionales, pero, frecuentemente, y debido a la forma de los generadores magnéticos, las líneas de fuerza se hallan más o menos concentradas. No podemos olvidar esta circunstancia en nuestros tratamientos, sobre todo a la hora de aproximar la fuente magnética al paciente, hacer investigación y publicar trabajos con resultados y estadística.

Según el sistema internacional de medidas (SIM), los divisores del Tesla se clasifican en:

- militesla (mT): milésima parte;
- microtesla (μT): millonésima parte;
- nanotesla (nT): mil millonésima parte y
- picotesla (pT): billonésima parte.

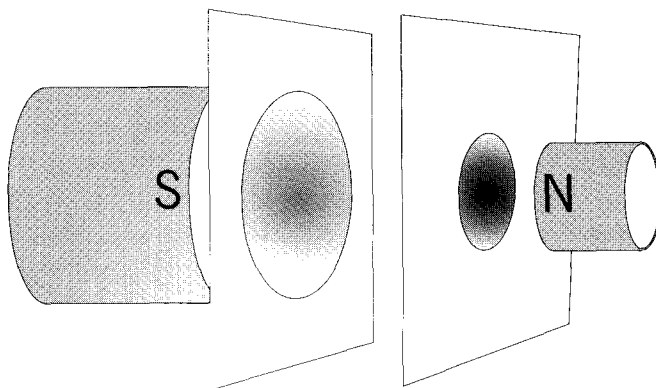


Figura XIV.8.

Podemos usar indistintamente la nomenclatura de militeslas o microteslas con la de Gauss (aunque no coincidan los valores), pues si militesla o microtesla son la milésima y millonésima del tesla, el Gauss es la diezmilésima por ser la densidad comparativa entre un  $\text{cm}^2$  y un  $\text{m}^2$ . Ya que  $1 \text{ m}^2 = 10.000 \text{ cm}^2$  (Fig. XIV. 9).

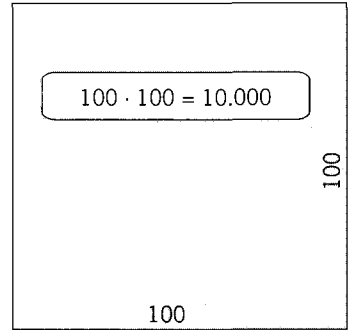


Figura XIV.9.

Esto ocurre así cuando se refiere al campo magnético continuo, ya que si se trata de campos magnéticos oscilantes o alternos, dado que éstos provocan desplazamientos de cargas eléctricas, la medida se va a realizar de acuerdo con las cargas eléctricas que es capaz de desplazar dicho campo magnético oscilante o dinámico, cargas contenidas en la materia que se encuentra dentro del campo (Fig. XIV. 10).

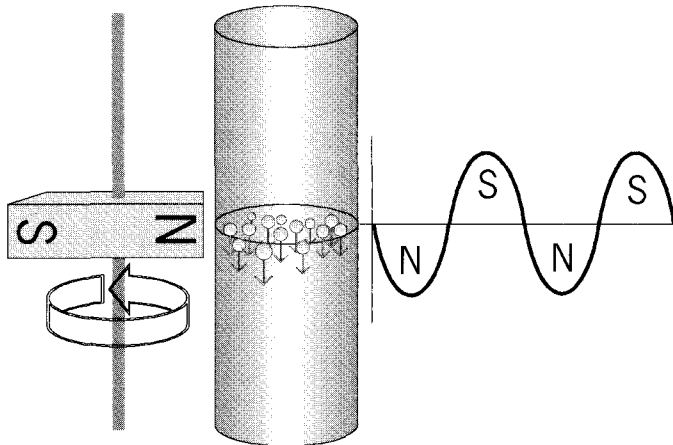


Figura XIV.10.

**En este caso, la unidad se expresa en amperios por metro cuadrado de sección del conductor ( $\text{A}/\text{m}^2$ ).**

Así, entendemos cómo el campo magnético genera y produce desplazamiento en las cargas eléctricas de los conductores (o dentro del cuerpo humano). Pero el efecto electromagnético se completa porque, igualmente, el desplazamiento de cargas eléctricas genera campo magnético alrededor de un conductor (mejor si está bobinado). De esta forma podemos medir la intensidad de campo magnético generada en el centro de una espira de 2 cm de diámetro y por cuyo conductor circula 1 Amp, medición que nos conduce a establecer su unidad, denominada **OERSTERD** (Fig. XIV. 11).

Podemos establecer la fórmula genérica que nos permita calcular la intensidad de campo magnético en cualquier bobina, siempre que circule corriente continua (corriente galvánica).

$$I \text{ de CM} = \frac{\text{n. de Esp.} \cdot I \text{ en Amp.}}{\text{diámetro de la bobina en cm}}$$

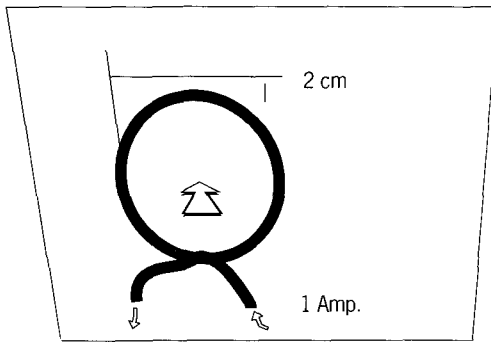


Figura XIV.11.

### Generación de campos magnéticos

El magnetismo, en la naturaleza, es permanente y procede de la magnetita. Pero, como se acaba de explicar, podemos conseguirlo mediante el efecto electromagnético. Fundamentalmente, encontraremos dos tipos de bobinas o solenoides:

- solenoides de campo interior (Fig. XIV. 12A) y
- bobinas de proximidad (Fig. XIV. 12B).

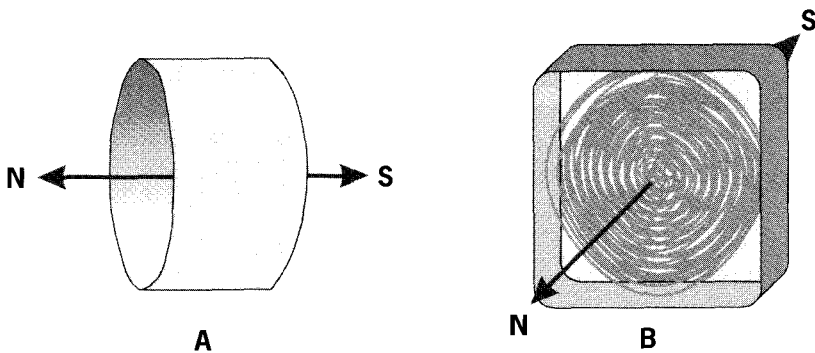


Figura XIV.12.

Es imprescindible conocer la fuerza del campo magnético y su polaridad. La fuerza o intensidad de campo se controla mediante la anterior fórmula. La polaridad se puede averiguar con ayuda de imanes naturales y fijos, previamente marcados con norte (N) y sur (S), o por la **ley de la mano izquierda**.

Si conocemos la polaridad de un imán y sabemos que las líneas de fuerza magnética emergen del (N) y vuelven al (S), por el exterior del solenoide, en el interior irán de (S) a (N) (Fig. XIV. 13A). Siempre que el campo sea continuo o pulsado con polaridad, en alterno, no se detectará debido a su constante cambio.

En los solenoides de placa, basta con acercar el imán y éste se situará con el polo contrario al de la bobina, debiendo leer el opuesto del que se adhiere a ésta (Fig. XIV. 13B).

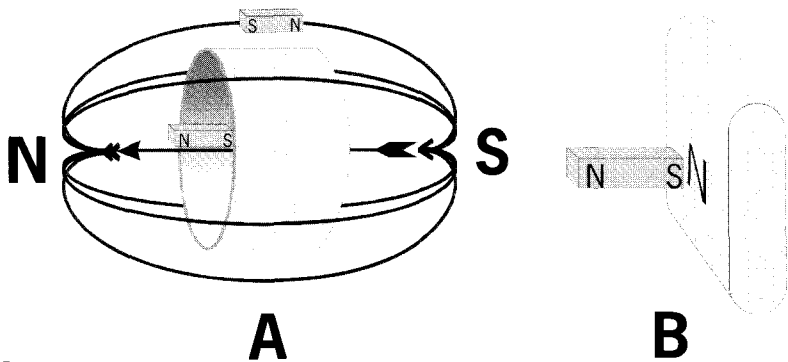


Figura XIV.15.

La ley de la mano izquierda (Fig. XIV. 14) consiste en considerar los cuatro últimos dedos como las vueltas de una bobina por la que entra la corriente desde la raíz de los dedos hacia la punta. Así, el primer dedo indicaría el polo (N) o sentido de las líneas de fuerza. Lógicamente, esto acontece si damos como bueno que la corriente se desplaza desde (-) a (+). Al contrario, hablaríamos de la ley de la mano derecha.

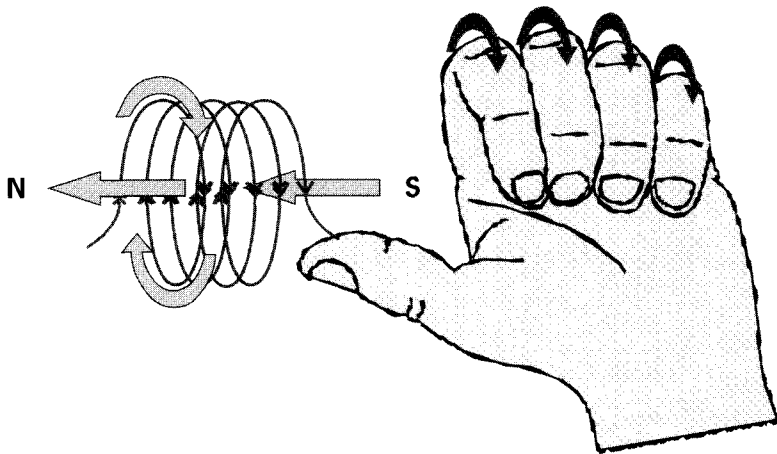


Figura XIV.14.

### FORMAS DE LOS PULSOS MAGNÉTICOS

En magnetoterapia, suelen aplicarse diversidad de formas en cuanto a campo continuo, alterno y pulsado. El campo continuo se comporta de igual manera que un imán clásico y es generado por una corriente continua. Mantiene siempre la misma polaridad (N)-(S) (Fig. XIV. 15).

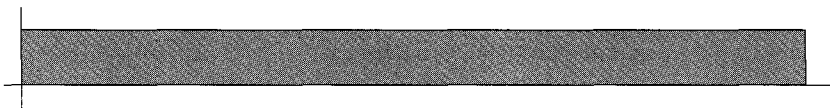


Figura XIV.15.

El alterno se compone de ondas sinusoidales positivas y negativas (Fig. XIV. 16), salvo en pequeños equipos alimentados por baterías, donde es más fácil lograr ondas cuadradas o triangulares que sinusoidales. La polaridad (N)-(S) cambia constantemente a la misma frecuencia que las ondas eléctricas.

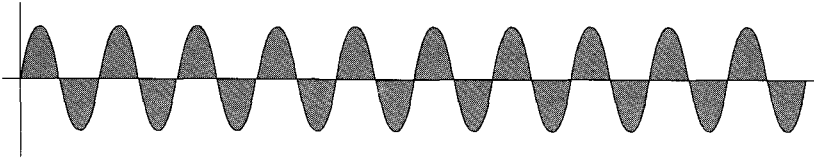


Figura XIV.16.

Los campos pulsados pueden estar compuestos por pulsos cuadrangulares, sinusoidales o triangulares, pero mantienen siempre la misma polaridad durante los instantes que duran los pulsos (Fig. XIV. 17).

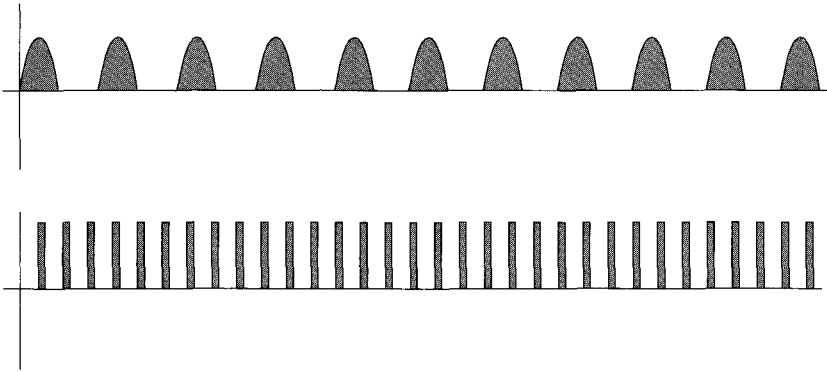


Figura XIV.17.

Además, algunos equipos añaden la posibilidad de aplicar las modalidades de alterna o pulsada de forma continua o con modulaciones en ráfagas o trenes. *Estas variaciones, normalmente, no se ajustan a parámetros preestablecidos y, de forma anárquica, cada fabricante diseña aquello que piensa como más apropiado* (Fig. XIV. 18).

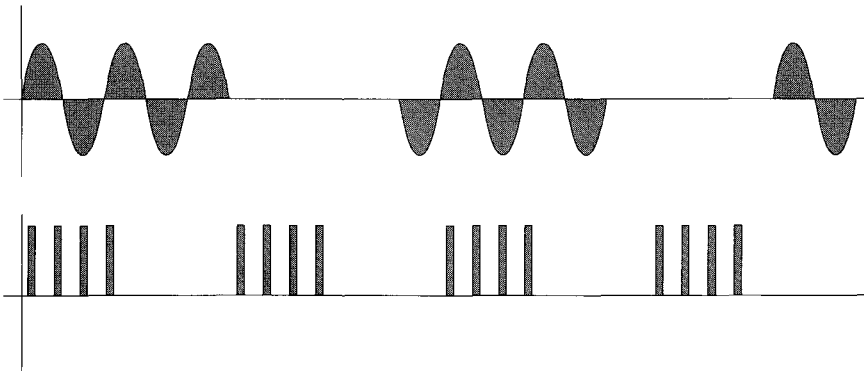


Figura XIV.18.

## FRECUENCIA DE LA MAGNETOTERAPIA

En caso de alterno o pulsado, encontramos mucha diversidad en las frecuencias empleadas:

- frecuencias fijas en 50 Hz;
- frecuencias fijas en 100 Hz;
- frecuencias variables de 1 a 100 Hz;
- frecuencias variables de 50 a 100 Hz;
- frecuencias variables hasta 500 Hz;
- frecuencias variables hasta 2.000 Hz;
- frecuencias variables hasta 5.000 Hz;
- o magnetoterapia de alta frecuencia utilizando una portadora de Khz o Mhz, etcétera.

La energía aplicada se regula en Gauss y los fabricantes tienden a establecer un límite máximo de 100 Gauss. **Algunos equipos se pueden encontrar con límite en 150 ó 200 Gauss.** Es importante conocer si la fuerza regulada se refiere a campo continuo o pulsado, pues en éste, la energía media se reduce de forma considerable.

Los manuales de manejo y utilidad no suelen informar, salvo algunos más bien escasos, sobre la polaridad, frecuencias, forma de onda, fuerza magnética a diferentes distancias de la bobina, fuerza media eficaz o por pulsos, etcétera.

Las bobinas o solenoides no suministran un campo homogéneo en su densidad de líneas, pues, cuanto más cerca midamos del hilo o cable conductor, mayor será su concentración y fuerza (Fig. XIV. 19). Luego, en las aplicaciones, buscaremos la máxima cercanía o proximidad entre el organismo y la bobina. La concavidad provoca concentración de líneas, en tanto que en la convexidad tienden a dispersarse. Por esto, introduciremos los miembros en la bobina cerca de la pared (no en el centro).

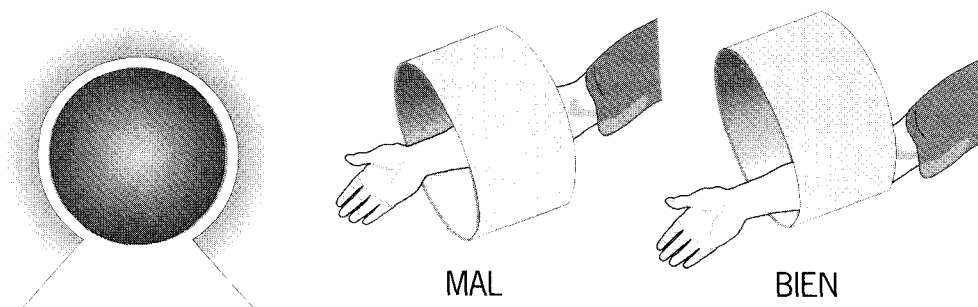


Figura XIV.19.

En las bobinas planas, si su diámetro interno se calculó de acuerdo a sus propiedades, lógicamente, su mayor energía la emitirán en el centro del arrollamiento y tocando su pared (Fig. XIV. 20). Por ello, se fabrican en dos partes que se enfrentan una a la otra, envolviendo el sector corporal a tratar entre ambas y de polaridad opuesta para que las líneas de fuerza crucen al organismo con la máxima eficacia.



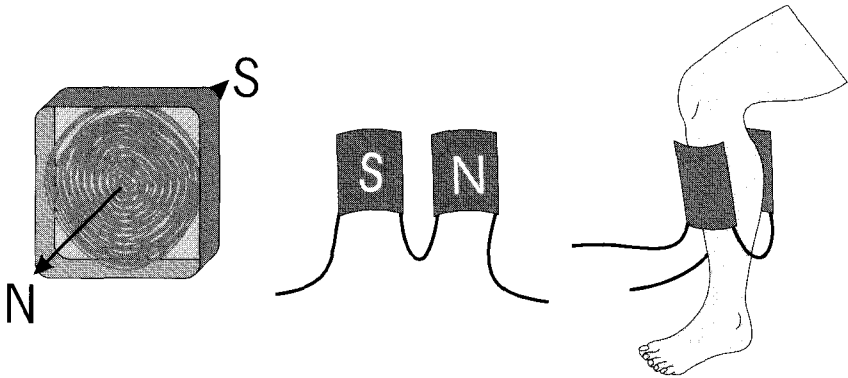


Figura XIV.20.

Para trabajar seguros de su influencia, deberíamos disponer de un medidor de Gauss para introducirlo o aproximarlo a las bobinas y saber realmente los Gauss aplicados o los Gauss que circularán en el mismo lugar en el que se colocará el sector corporal a tratar (Fig. XIV. 21). El Gaussímetro garantiza, cuando menos, que el equipo funciona correctamente o que la forma de regularlo depende de la lectura directa en el solenoide y no de la teórica. Es muy frecuente que las medidas teóricas reguladas no correspondan con las reales, más bien, las coincidencias son escasas (circunstancia comprobada en la realidad).

No obstante, es insuficiente conocer los Gauss que circulan por el tejido vivo. Se requiere conocer la influencia electroquímica conseguida en las disoluciones y dispersiones orgánicas, con las respectivas cantidades de Gauss.

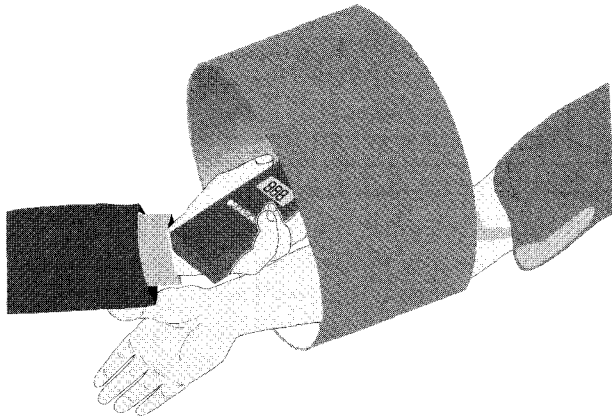


Figura XIV.21.

Con la alta frecuencia térmica, partimos de la referencia básica en la que el paciente detecta sensación térmica, reduciendo un punto la potencia aplicada, desaparece la percepción térmica y diremos que nos encontramos al límite del grado I, justo antes del grado II.

Con la magnetoterapia no se genera percepción térmica y, por ello, no sabemos si estamos muy distantes de dicho límite, si lo estamos justo antes, si la energía aplicada es tan mínima que tan siquiera estimula al sistema, si saturamos al sistema... Tal cantidad de dudas

requieren ser resueltas con una metodología más fiable o perceptible y no con estadísticas que generan multitud de errores de planteamientos básicos.

Tal vez se pueda argüir que los mecanismos de actuación entre la magnetoterapia y la alta frecuencia son distintos, siendo así hasta cierto punto, pues la termoterapia profunda de alta frecuencia desencadena el sistema de termorregulación, en tanto que la magnetoterapia no alcanza este nivel. **Pero, siempre que aportemos energía y aumentemos el movimiento Browniano, se generará calor, aunque no tanto como para desencadenar los sistemas de termorregulación.** En sesiones largas (con ciertos equipos de magnetoterapia) hacia el final de la sesión, los pacientes llegan a manifestar la percepción de «calorcillo».

Debemos esperar más en orden a los resultados de las experimentaciones y teorías circulantes al respecto, tanto procedentes de la ausencia del campo magnético introduciendo animales en jaulas magnéticas (formadas por cajas de hierro concéntricas Fig. XIV. 22), como de la influencia sobre la hemoglobina o del efecto piezoeléctrico en el hueso.

Dado que se especula excesivamente con los efectos positivos de los campos electromagnéticos y con los perniciosos de los mismos campos, debemos esperar resultados más precisos.

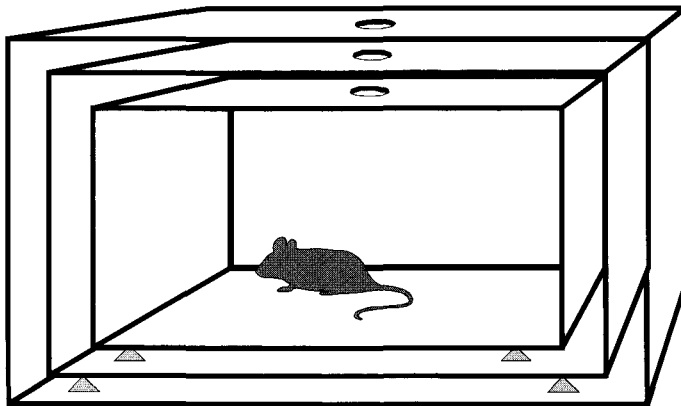


Figura XIV.22.

## Piezolectricidad del hueso

Se considera que el hueso dirige su forma y estructura a base de descargas eléctricas que crean un ambiente de electronegatividad (-) o electropositividad (+) cuando se deforma (Fig. XIV. 23), de tal manera que en la concavidad aparecen las negativas (-) y en la convexidad las positivas (+). Se afirma que en las zonas de electronegatividad tiende a proliferar la regeneración ósea, en tanto que en las de convexidad desaparece el tejido óseo.

Se le atribuye al magnetismo un efecto de regeneración ósea cuando se consigue suficiente electronegatividad en las proximidades de una zona afectada por retardo de consolidación ósea. Para ello, basándose en el efecto Hall, aplicaríamos dos bobinas polarizadas de forma que el polo (N) consiga la electronegatividad suficiente para acelerar el crecimiento del callo (Fig. XIV. 24). El (S) provocaría la destrucción ósea.

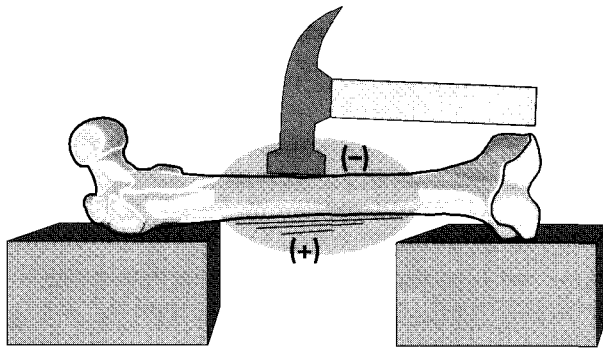


Figura XIV.25.

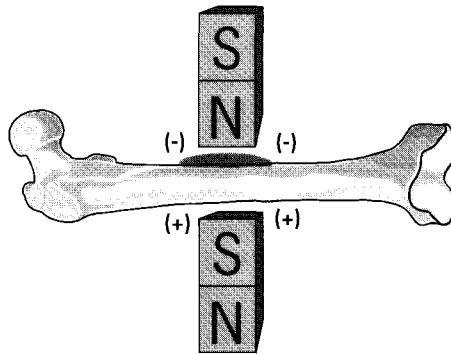


Figura XIV.24.

Asimismo, mediante la carga procedente del apoyo sobre un fémur, en las concavidades tendería a reforzarse el hueso y disminuir su volumen por las convexidades, **siempre que la elasticidad de las travéculas del callo, toleren el apoyo**, pero si éstas son forzadas o desgarradas por el apoyo, se alterará el mecanismo de apoyo precoz.

Faradizar la musculatura de la zona con electroestimulación de baja o media frecuencia para conseguir la contracción muscular en forma de ráfagas o trenes cortos, pero suficientemente intensos, también hará que proliferen los osteoblastos generadores de hueso en la concavidad provocada por la tensión muscular, ya que ésta actúa a modo de «cuerda de arco». Esta técnica provoca en el huso deformaciones que afectan a su forma y aumentos de presión sobre los callos de osificación, favoreciendo su aceleración en la consolidación (Fig. XIV. 25). Este enfoque es más demostrable que la posible influencia de la magnetoterapia.

## Efecto Hall

Se están haciendo referencias al efecto Hall por la influencia que posee el campo magnético sobre las cargas eléctricas. Podemos explicarlo con el siguiente experimento:

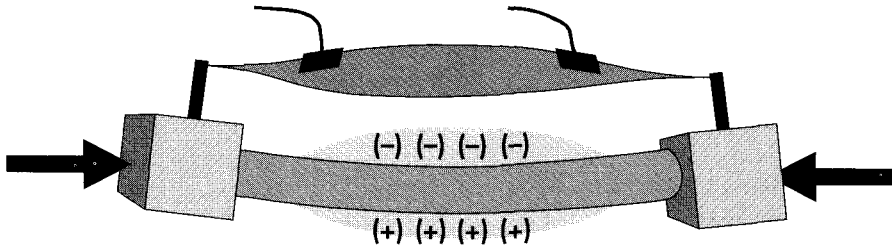


Figura XIV.25.

- A) Si hacemos pasar una corriente continua (galvánica) por un conductor ancho y circular, formando un cilindro perfecto a lo largo de su altura, habiendo aplicado dos electrodos en sus caras planas, y éstos conectados a un generador con sus correspondientes polo (-) y (+). Después fijaremos dos nuevos electrodos detectores en las caras circulares, en su recorrido medio y uno frente al otro. Los dos últimos se conectan a un voltímetro (con cero central) para que detecte si se muestra diferencia de potencial alguna entre ambos lados del conductor y es de esperar que indique la misma cantidad de cargas en ambos lados, manteniendo la aguja centrada. Esto es normal según lo podemos ver en la figura XIV. 26A.
- B) Pero si acercamos un imán al conductor próximo a uno de los electrodos detectores y laterales (Fig. XIV. 26B) veremos cómo la aguja del voltímetro se desplaza en algún sentido. *Ello es debido a que las líneas de fuerza magnética desplazan a los electrones hacia el otro lateral siempre que el polo sea el (S), en tanto que el (N) los*

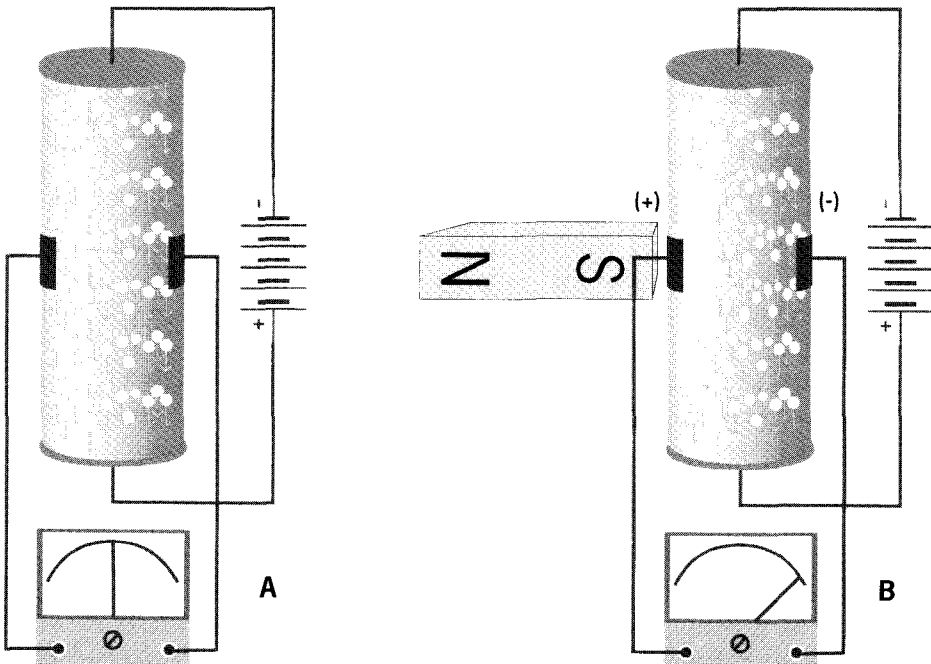


Figura XIV.26.

*atraerá.* A modo de regla nemotécnica, podemos decir que (N) de polo norte tiende a asociarse con (N) de negativo de las cargas eléctricas.

En este fenómeno se apoyaría la **imantoterapia** o aplicación de imanes sobre determinadas zonas, asignándole al (N) la polaridad eléctrica (+) y al (S) la polaridad (-) (ver «Efectos galvánicos polares», en el capítulo V). Por ello, aplicaremos el (N) sobre los procesos agudos y el (S) en los crónicos. Asimismo, en los retrasos de consolidación, aproximaremos el (N) al foco de fractura con retardo, pues este polo será el que genere la electronegatividad. *Las mejores aplicaciones de imantoterapia son las realizadas mediante control y test de Kinesiología aplicada.*

## Equipo de magnetoterapia

Un equipo de magnetoterapia debe consistir en:

- generador de corriente aplicada a las bobinas o solenoides (Fig. XIV. 27);
- varias bobinas o solenoides intercambiables de distinto tamaño y método de aplicación, tanto las de solenoide como las de aplicación directa;
- camilla con un solenoide grande, diseñada de tal forma que permita el deslizamiento a distintos niveles y barridos del solenoide (Fig. XIV. 28).

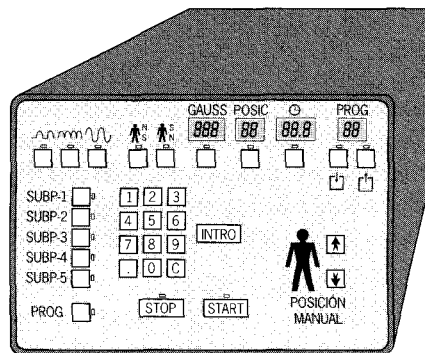


Figura XIV.27.

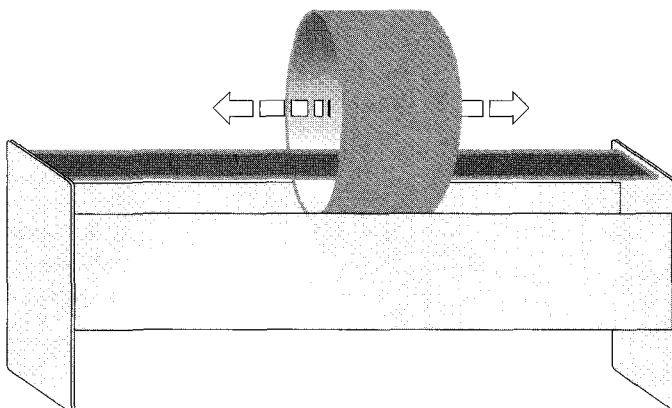


Figura XIV.28.

En el panel de control, debiéramos disponer, cuando menos, de las siguientes condiciones (Fig. XIV. 29):

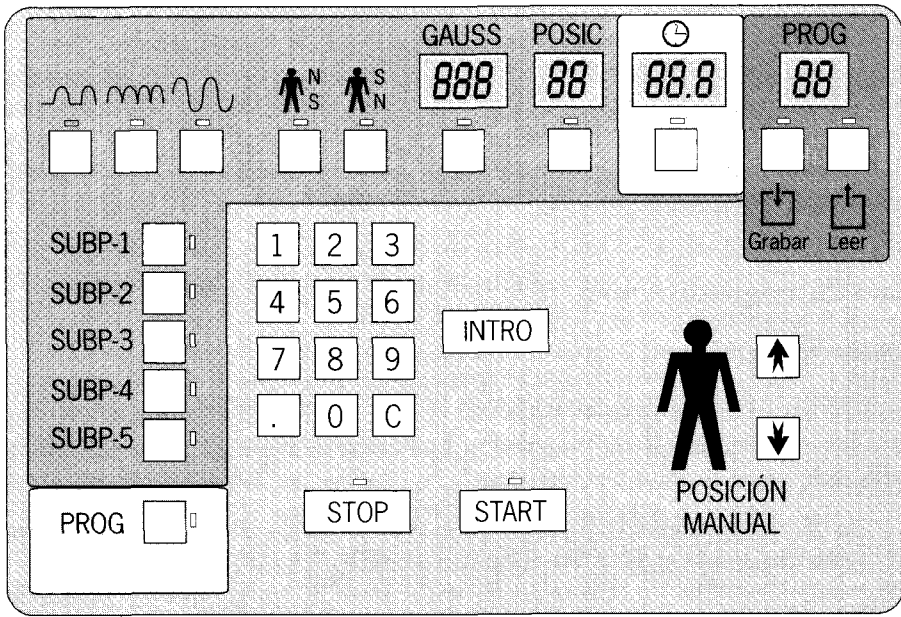


Figura XIV.29.

1. Activación de programas y subprogramas. Antes de iniciar cualquier ajuste, activaremos una de estas teclas para que los datos que se programen en los siguientes pasos se graben en un programa simple o en los correspondientes subprogramas que pudieran componer un programa compuesto (Fig. XIV. 30).
2. Si presionamos la tecla inferior de PROG, el equipo aplicará los ajustes realizados en la última o única evolución de las distintas regulaciones. Si pulsamos las teclas de SUBP-x, será necesario asimilar esos datos de cada subprograma para agruparlos en el programa (PROG) definitivo que los contiene. El equipo aplicará los parámetros del SUBP-1 durante el tiempo asignado, seguidamente el SUBP-2, el SUBP-3 y así hasta el SUBP-5 si es que se programaron todos. Si pretendemos hacer un barrido, programando dos es suficiente. Si tratamos dos zonas distintas, con dos subprogramas, será bastante. Después de cargar los distintos subprogramas, el programa general solamente se ajustará con la suma de tiempos de cada subprograma.

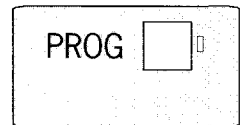
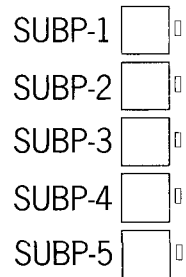


Figura XIV.50.

3. Selector de varias formas de onda para hacerlo continuo, pulsado con polaridad o alterno. Cada tecla activa su función de acuerdo a nuestros deseos (Fig. XIV. 31).

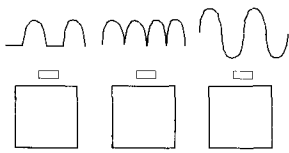


Figura XIV.51.

4. Inversor de polaridad magnética para dirigir las líneas de fuerza magnética en sentido ascendente o descendente con respecto al paciente. Cada tecla activa su función (Fig. XIV. 32).

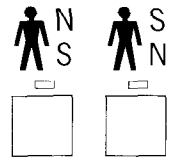


Figura XIV.52.

5. Display indicador de los Gauss que se generan en la bobina, pudiendo alcanzar desde cero hasta un máximo de 200. Pulsando la tecla inferior al display, se activa éste y se introducirán los datos mediante el teclado numérico. **Es importante que el equipo añada un sistema comprobador de Gauss en la propia bobina** (Fig. XIV. 33).

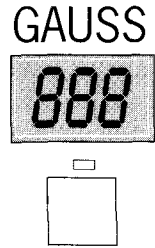


Figura XIV.53.

6. Posición en la que se encuentra o a la que llevamos el solenoide para el tratamiento. Se regulará entre la posición 00 y 99. En caso de barridos indicará la posición por la que se está desplazando. Intercambiando las bobinas para usar una de aplicación directa o un solenoide pequeño fuera de la camilla. Esta función, lógicamente, no se activaría o se mantendría en 00. El valor de la posición lo indicará un programa, su introducción por teclado numérico o mediante el avance manual del solenoide (Fig. XIV. 34).

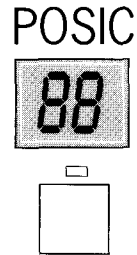


Figura XIV.54.

7. Reloj para controlar el tiempo de la sesión. Ajustable entre 00 y 99 minutos. Lo marcará un programa o el ajuste directo mediante teclado. El tiempo de la sesión será la suma de los tiempos de los distintos subprogramas si los hubiere (Fig. XIV. 35).

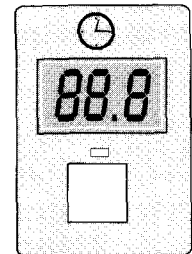


Figura XIV.55.

8. Grabación y lectura de los programas y subprogramas preajustados. El display indica el número de programa que se introduce por teclado numérico y la tecla correspondiente activa la función de grabar o de cargar en memoria los datos almacenados (Fig. XIV. 36).

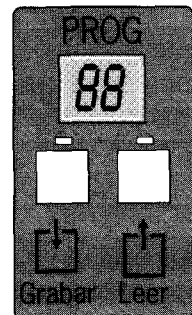


Figura XIV.56.



Figura XIV.57.

9. Posición manual del solenoide en la camilla, la cual se conseguirá manteniendo la presión sobre las teclas de ascenso o descenso respectivamente hasta localizarlo en la posición deseada, bien guiándonos por la posición indicada en el display o por la altura adecuada para la zona tratada en el paciente (Fig. XIV. 37).

10. Teclado numérico para introducir los datos que se pide en cada display activado. La tecla inferior izquierda sirve de punto o coma, separador para decimales. La tecla inferior derecha (C) se presionará cuando se cometa un error de pulsación numérica para cancelar los ajustes antes de pulsar *intro*. La tecla de *intro* acepta y guarda como definitivos los valores ajustados y regulados en cada display (incluidos los número de programa) (Fig. XIV. 38).

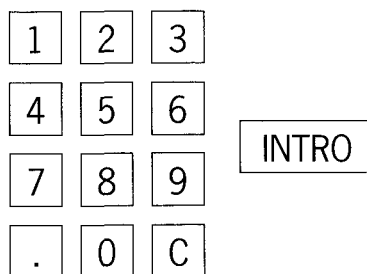


Figura XIV.38.

11. Las teclas de START/STOP activarán el programa cargado con todos sus subprogramas, o los parámetros ajustados sin cargarlos en programa. STOP lo parará para poner la máquina en espera de nuevos ajustes o reactivar lo último cargado en memoria (Fig. XIV. 39).

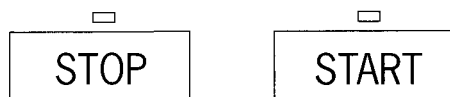


Figura XIV.39.

### COLOCACIÓN DEL PACIENTE

Al paciente se le situará en posición cómoda, que se adapte al aparato o, mejor, que el equipo se adapte al paciente —si el sistema lo permite— envolviendo las bobinas la zona tratada (Fig. XIV. 40).

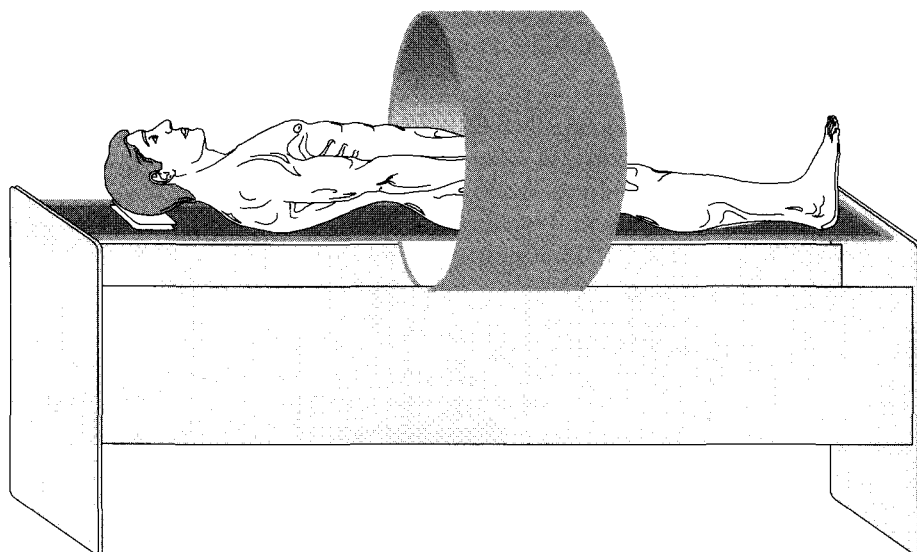


Figura XIV.40.



Si las bobinas son solenoides cilíndricos, el miembro se introducirá a modo de núcleo en la bobina, pero lo más próximo posible a la pared del solenoide. Si las bobinas son planas o de proximidad, se deberán aplicar sobre la piel o a través de un paño o gamuza seca en la zona elegida.

Los tratamientos o sesiones se indican largos, entre media y una hora (incluso se aconsejan varias horas seguidas de aplicación, habitualmente aplicado con equipos portátiles y destinados de forma muy expresa a retardos de consolidación). La intensidad del campo recomendable oscila entre 50 y 100 Gauss (medidos en la bobina, que no teóricos). Algunos fabricantes alcanzan los 150 ó 200 Gauss. **Un efecto añadido a tener muy en cuenta es la siesta aliviadora de tensiones que «superpone el paciente» a la sesión de magnetoterapia.**

Se tiende a decir que poca intensidad para procesos agudos y regulación de Gauss alta para patologías crónicas (la frecuencia y tipos de pulso influye de forma fundamental en la energía que recibe el paciente). Dado que la energía aplicada es muy relativa, en grado I y desconocida su respuesta fisiológica, este sistema es, cuando menos, dudoso. ¿Para qué aplicar varias sesiones de magnetoterapia si con una de onda corta o microonda se consiguen los mismos resultados?

## Aplicaciones según el efecto biológico

Dependiendo de la forma de onda y de su polaridad, debemos enfocar la magnetoterapia para un tipo de patologías u otras.

Los equipos que generan ondas alternas producen agitación iónica en el medio y reactivación metabólica. Por ello, se indican en procesos de tipo reumático cronicados, contracturas musculares, mejora del riego, aumento de oxígeno en la zona, etcétera.

Los equipos que generan campo continuo con polaridad magnética se reservarán para efectos antiinflamatorios o reactivadores locales del trofismo en procesos crónicos (NORTE: procesos agudos; SUR: procesos crónicos). Son aplicaciones comparables al galvanismo y a la imanterapia con sus imanes adheridos a la piel.

Los equipos con pulsos sin alternancia en su polaridad (siempre el mismo lado de la bobina mantiene la misma polaridad) pueden dedicarse al efecto regenerador de calcio para los retardos de consolidación. El NORTE consigue electronegatividad y recalcificación ósea. El SUR provoca electropositividad y destrucción ósea.

## Precauciones y contraindicaciones

En este caso tenemos que recurrir a los tópicos de siempre:

- No aplicar en mujeres embarazadas.
- No aplicar en el trayecto cardíaco de pacientes con cardiopatías. ¿Cuántos no diagnosticados serán sometidos a magnetoterapia?
- No aplicar en pacientes con marcapasos.

- Evitar en lo posible el sistema nervioso central.
- No aplicar en procesos cancerígenos. ¿Cuántos pacientes no diagnosticados serán tratados?
- **Es recomendable no aplicar campos magnéticos sobre zonas con osteosíntesis metálicas, ya que la experiencia indica que pueden aumentar las respuestas de rechazo (aunque el concepto más extendido es el contrario al aquí expuesto).**
- **No aplicar simultáneamente con otros tratamientos de electroterapia.**



## CAPÍTULO XV

# Ultrasonidos

Son ondas sonoras de alta frecuencia, desde 800.000 a 3.000.000 de Hz (0,8 a 3 Mhz), producidas por un cabezal vibratorio que se aplica sobre la piel, a través del cual penetran en el organismo. El nombre de ultrasonidos viene dado por considerarse como límite de ondas sonoras (perceptibles por el oído humano) entre 15.000 y 20.000 Hz.

Según esto, no estamos hablando de energía electromagnética, como el resto de otras corrientes. Es frecuente escuchar opiniones que fomentan la polémica acerca de que esta técnica no pertenece a la electroterapia.

Se trata de aplicar una energía *cinética* o *mecánica* que absorba el organismo para transformarse en otra *diferente* en su interior, de igual forma que acontece con la alta frecuencia, la luz o el calor, pertenecientes éstas a la energía *electromagnética*.

### Forma de generar los ultrasonidos

Aprovechamos un fenómeno físico basado en que algunos minerales poseen la propiedad de *deformarse* al someterlos a un impulso eléctrico o que *generan un impulso eléctrico* al ser sometidos a deformación brusca. Fenómeno que recibe el nombre de **piezoelectricidad** (Fig. XV. 1).

Luego será necesario disponer de un equipo formado por su generador de impulsos eléctricos a la frecuencia antes citada, impulsos dirigidos al cabezal de tratamiento, en cuyo

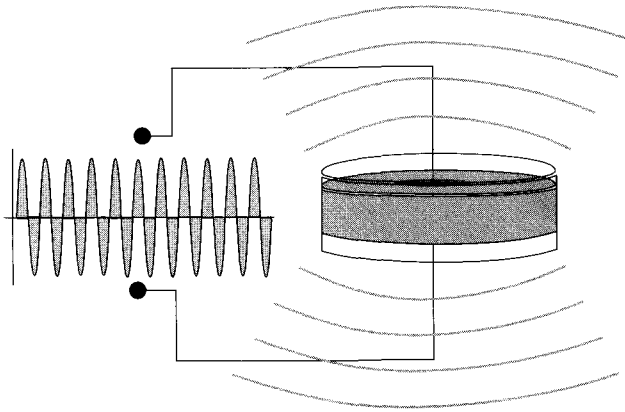


Figura XV.1.

interior se encuentra el prisma transductor de electricidad en vibración cinética: transductor de cuarzo, o bien otros minerales de moderna obtención, los cuales incluso mejoran las prestaciones del clásico cuarzo, todos ellos con la propiedad de piezoelectricidad. (Fig. XV. 2).

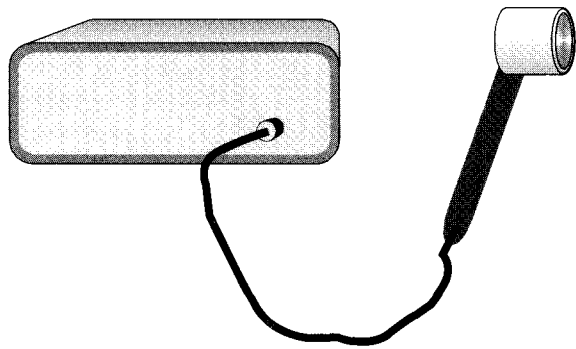


Figura XV.2.

Para que las ondas emitidas consigan la mayor potencia posible, la «pastilla piezoeléctrica» debe tener unas dimensiones y forma acordes y en sintonía con la frecuencia aplicada. Razón por la cual, para distintas frecuencias, se necesitan cabezales de diferente tamaño, aunque se está superando esta condición.

Las frecuencias que en la actualidad se emplean son:

- alrededor de 1 Mhz continuo o pulsante;
- alrededor de 3 Mhz continuo o pulsante.

### CONTINUO

Consiste en la aplicación constante de la vibración a la frecuencia elegida (Fig. XV. 3).

## PULSÁTIL

Son interrupciones en la vibración que dan lugar a impulsos formados por pequeñas ráfagas de ultrasonidos (Fig. XV. 3).

Los antiguos equipos de ultrasonidos disponían de selector para continuo o pulsátil, pero en la actualidad contamos con varias opciones de pulsátil. ¿Cuál escoger? Dado que los equipos para el tratamiento con *ultrasonidos*, en las últimas versiones, nos los suministraban los fabricantes, con una serie de posibilidades, a la hora de utilizar el modo pulsátil necesitamos saber el porqué y para qué. Además, no coinciden las nomenclaturas. Es necesario que intentemos aclarar o explicar los distintos métodos.

Digamos en este punto que las influencias fundamentales de los distintos modos pulsátiles causarán alteraciones en la potencia aplicada y en los distintos efectos, situaciones que más adelante se verán con mayor detalle.

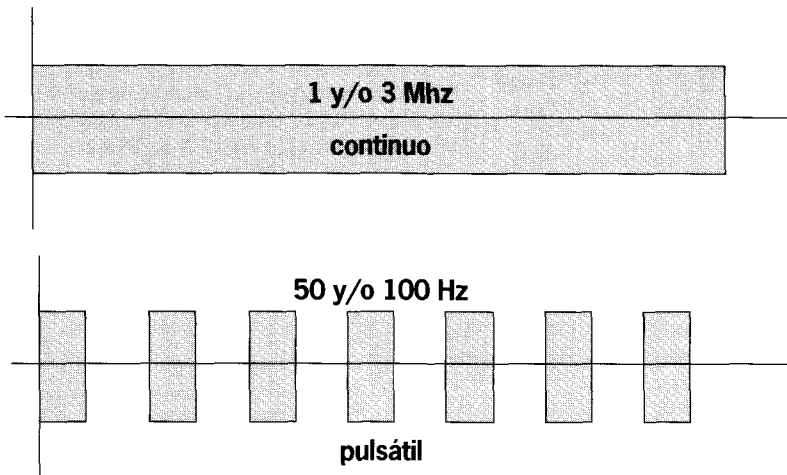


Figura XV.5.

Las nomenclaturas más habituales para indicar las distintas relaciones en que disminuye la potencia con ultrasonidos pulsátiles son cuatro (Fig. XV. 4):

- 1) relacionar el impulso con el reposo;
- 2) relacionar el impulso con el período del ciclo;
- 3) indicar en milisegundos el tiempo del impulso y el del reposo;
- 4) relacionar el impulso con el período en un porcentaje.

En el primero, segundo y cuarto métodos, es necesario añadir si nos hallamos en 50 o en 100 Hz, mientras que el tercero nos aporta toda la información, siempre que sepamos trabajar con los períodos dados en cada frecuencia.

Los pulsos de ultrasonidos establecen una nueva frecuencia elegidas, usualmente, entre 50 ó 100 Hz. Las proporciones usadas entre cada pulso y su reposo dentro del período para 50 ó 100 Hz suelen ser de 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:10, 1:20, etc., de forma que si ele-

gimos la razón matemática (*duty cycle*) de 1:1, el impulso y la pausa serán de igual duración. Pero si elegimos 1:5, de seis partes, una será para el impulso y cinco para la pausa, así como para 1:20, donde de 21 partes, una será para el impulso y las 20 restantes para la pausa. Analizar detenidamente la figura XV. 4 en la que se representa una razón pulso-reposo de 1:3 y la razón pulso-período de 1/4. También podemos indicar los tiempos en milisegundos del pulso y del reposo para 50 y 100 Hz.

Si nos fijamos bien en la tabla XV. 1, las frecuencias con pulsos a 50 ó 100 Hz tienen que venir dadas por períodos de 20 ms para 50 Hz, o de 10 ms para 100 Hz (suma del tiempo destinado al impulso y el destinado al reposo), pero en las proporciones se citan desde 1:1 hasta 1:20, de forma que si deseamos mantener los 20 ms o los 10 ms, tendremos que modificar los tiempos de la siguiente forma (Tabla XV. 1).

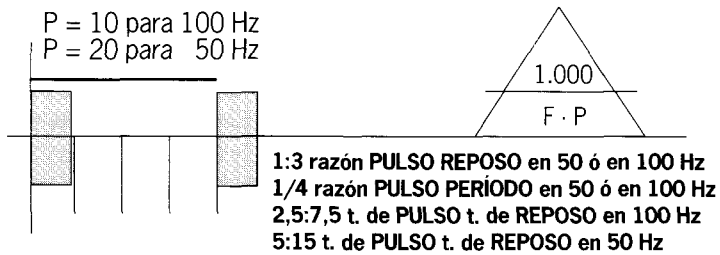


Figura XV.4.

TABLA XV. 1

Razón pulso: reposo	Razón pulso/período	100 Hz (10 ms) t. imp: t. rep	50 Hz (20 ms) t. imp: t. rep	Resultante de la potencia
1:1	1/2	5:5	10:10	50%
1:2	1/3	3,5:6,5	6:14	33%
1:3	1/4	2,5:7,5	5:15	25%
1:4	1/5	2:8	4:16	20%
1:5	1/6	1,5:8,5	3:17	16%
1:8	1/9	1:9	2:18	11%
1:10	1/11	0,9:9,1	1,5:18,5	9%
1:20	1/21	0,5:9,5	1:19	5%

Más adelante volveremos sobre esta información para establecer un sistema de dosificación.

### VELOCIDAD DE CONDUCCIÓN Y LONGITUD DE ONDA

Nos basaremos en la siguiente fórmula: **velocidad = longitud de onda por frecuencia.**

Si observamos la tabla XV. 2, en la columna de las velocidades de conducción, apreciamos que los tejidos orgánicos (junto con el agua) mantienen unos valores próximos entre sí, pero el metal, el hueso y el aire muestran, claramente, diferencias importantes.

TABLA XV. 2

Medio	Vel. en m/s	L. de O. en 1 Mhz	L. de O. en 3 Mhz
<b>Aire</b>	<b>343</b>	<b>0,34</b>	<b>0,11</b>
Grasa	1.478	1,48	0,49
Agua	1.492	1,49	0,5
Piel	1.519	1,51	0,5
Vaso sanguíneo	1.530	1,53	0,51
Músculo	1.552	1,55	0,52
Sangre	1.556	1,57	0,52
Cartílago	1.750	1,75	0,58
Tendones	1.750	1,75	0,58
<b>Hueso</b>	<b>3.445</b>	<b>3,44</b>	<b>1,14</b>
<b>Aluminio</b>	<b>5.100</b>	<b>5,1</b>	<b>1,7</b>

Los metales y el hueso pueden semejarse al cristal y su comportamiento ante la luz, es decir: la conducen muy bien o la reflejan en gran cantidad. Sin embargo, el aire es bastante mal conductor. Entonces, el aire no nos servirá como transmisor y, además, nos creará problemas ante los que será necesario tomar precauciones; por ejemplo, las paredes alveolares del pulmón o intestinales sí contienen gases cuando la potencia utilizada es alta o nos detenemos en un punto.

## Forma de aplicar los ultrasonidos

Dado que el aire es mal conductor de *ultrasonidos*, se deberán aplicar estos de forma que no aparezca solución de continuidad entre la piel y el cabezal aplicador; para ello se recurrirá a una sustancia gelatinosa que reúna las siguientes condiciones:

- buen conductor de las ondas ultrasónicas;
- que facilite el deslizamiento;
- que no se transforme en grumos ni se reseque;
- que no irrite la piel.

También podemos aplicarlos a través del agua, forma denominada subacuática, deslizanddo el cabezal a la distancia de 1 ó 2 cm del miembro tratado, pero manteniendo la precaución de evitar las burbujas de aire que se van depositando sobre la piel tratada, haciéndolas desaparecer. Si en la modalidad subacuática se toca la piel del paciente, no ocurrirá nada en absoluto.

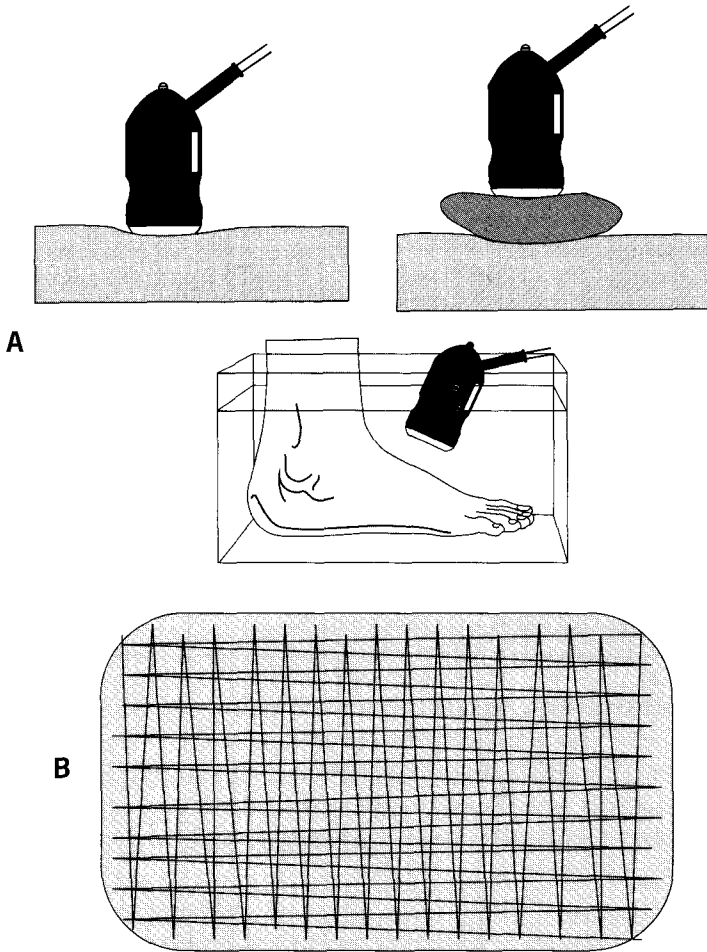


Figura XV.5.

Un tercer método consiste en interponer entre la piel y el cabezal una bolsa de látex con agua y sin burbujas de aire (por ejemplo, un guante de cirugía). El cabezal se mantiene también en movimiento y es soportado por la deformación del cojín de agua. Entre la bolsa de agua y la piel, así como entre la bolsa de agua y el cabezal, debemos aplicar gel conductor (Fig. XV. 5A).

Los bloques de hielo y algunos geles contenidos en bolsas para aplicar frío no son adecuados por su débil capacidad de conducción (demostrado con ecografía).

Una vez aplicada la potencia elegida, seleccionada la zona de tratamiento y la dosis, se mantiene el cabezal en movimiento, que será:

- lento;
- regular;
- sin romper el contacto;



- tratando de esquivar salientes óseos;
- suave presión;
- reparto homogéneo de los movimientos por toda la zona tratada.

Tenemos que evitar por todos los medios que la sesión se convierta en algo monótono y mecánico, si nuestro deseo es aplicarlos con eficacia por toda la zona elegida debe exigirse atención y concentración constante. Observar la fotografía en la cabecera del capítulo, en la que se delimita la superficie a tratar.

La atención es importante para evitar paradas o zonas no recomendadas, pudiendo causar un fuerte dolor neurálgico por acumulación excesiva de energía cinética que rompe los tejidos, dolor procedente de la rotura de fibras nerviosas. En determinadas circunstancias podemos detener el movimiento del cabezal o dejarlo largos períodos de tiempo quieto, sobre todo si consideramos que la potencia aplicada es muy baja o de administración lenta.

Si hacemos círculos sobre la zona, saturamos unas partes mientras otras reciben poco; si movemos el cabezal formando un «ocho», ocurrirá que también ciertas zonas serán saturadas con déficit de otras. Es muy importante decidir la zona y marcar una estrategia de barrido repetitivo en ambos sentidos, teniendo precaución para que los bordes o esquinas reciban la misma cantidad de ultrasonidos que el centro (Fig. XV. 5B).

Debemos saber que la forma del haz no es homogénea, pues en el centro del cabezal la energía se acumula más que en los bordes. Por ello, consideraremos una serie de ondas concéntricas que emergen de la superficie plana del cabezal, siendo las centrales más potentes que en los bordes.

A este fenómeno no le daremos una importancia trascendental en este capítulo, pues sería otra variable más a combinar que complicaría los sistemas de dosificación que más adelante se sugerirán a modo de hipótesis de trabajo.

## Equipos aplicadores de ultrasonidos

Los aparatos clásicos para generar ultrasonidos destinados a nuestros tratamientos como fisioterapeutas constan, fundamentalmente, de (Fig. XV. 6):

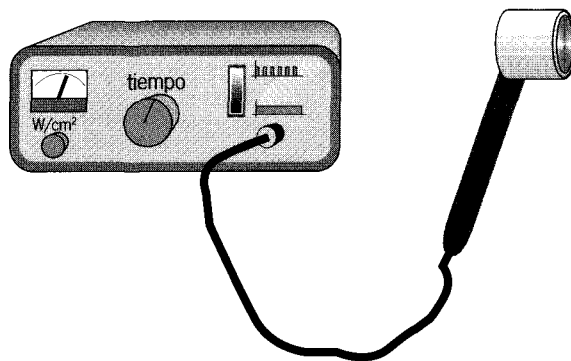


Figura XV.6.

- interruptor de encendido apagado;
- reloj de tiempo de sesión;
- cambio de continuo a pulsante;
- regulador de potencia en  $W/cm^2$ ;
- cabezal aplicador de ultrasonidos;
- soporte del cabezal;
- cable de unión entre el generador de impulsos y el cabezal.

Los equipos de última generación vienen dotados de una serie de mejoras que subsanan muchas de las dificultades que tradicionalmente se planteaban con los antiguos. Pueden ser (Fig. XV. 7):

- selector es de 1 ó 3 Mhz;
- reguladores de potencia en  $W/cm^2$  o por todo el cabezal;
- informadores de la potencia aplicada y potencia realmente absorbida;
- informadores de la superficie eficaz del cabezal (ERA);
- señalador de tiempo real de aplicación;
- indicadores de sobrecarga del cabezal;
- selectores de varios tipos de pulsátil y sus valores indicativos;
- detectores de la potencia real emitida por el cabezal.

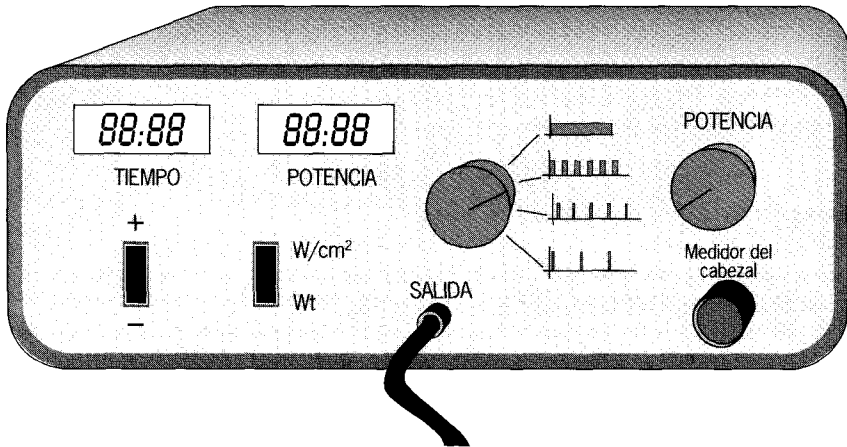


Figura XV.7.

Detengámonos en algunos de estos puntos para ver su importancia.

### SELECTOR DE 1 Ó 3 Mhz

La diferencia fundamental entre el ultrasonido de 1 y 3 Mhz consiste en que la frecuencia de 1 Mhz posee mayor poder de penetración en los tejidos vivos, mientras que la de 3 Mhz es más superficial (demostrado por ecografía).

## REGULACIÓN DE POTENCIA EN W/CM<sup>2</sup> O POTENCIA TOTAL DEL CABEZAL

El hecho de aplicar ultrasonidos requiere precisar la cantidad de ultrasonidos que realmente recibe el paciente, más que la emitida por unidad de superficie del cabezal. Ello implica que necesitamos información más precisa que nos permita calcular adecuadamente la dosis (la dosis no es la potencia emitida ni la ajustada) y dado que los cabezales pueden ser de distinto tamaño, es mejor precisar la potencia que realmente aplicamos por todo el cabezal en lugar de la emitida por 1 cm<sup>2</sup>, aunque la costumbre nos arrastre al uso de los W/cm<sup>2</sup> emitidos.

## POTENCIA REAL APLICADA Y ABSORBIDA

Estos equipos suelen informar continuamente del porcentaje o potencia absorbida con relación a la potencia inicialmente elegida y regulada. Normalmente, apreciaremos que el valor no se mantiene fijo, sino que oscila con el movimiento del cabezal. Esta observación nos hará pensar en aplicar un coeficiente corrector en la potencia elegida.

La potencia ajustada es un parámetro decisivo en la dosificación, pero no es la dosis. La potencia en W totales del cabezal, o en W/cm<sup>2</sup> del cabezal, indica la rapidez con que se subministra la energía (la cantidad de energía en 1 sg), de manera que el exceso de potencia puede dañar al tejido y la escasez de potencia no conseguir la acumulación energética suficiente como para estimular al sistema biológico.

Si el paciente manifiesta dolor o pinchado durante la sesión, tenemos que reducir la potencia que se está aplicando y recalcular la dosificación.

## TIEMPO REAL DE LA APLICACIÓN

Si el porcentaje de absorción por los tejidos baja a unos determinados límites a causa del mal contacto con la piel, el mal estado del gel conductor o es retirado el cabezal, cesará la emisión de *ultrasonidos* y el reloj que controla el tiempo de la sesión se detendrá hasta que las condiciones vuelvan a ser adecuadas. Perfeccionamiento que también conduce al establecimiento de una dosis considerada como adecuada, pensando en la cantidad de energía recibida más que en la emitida.

## SOBRECARGA DEL CABEZAL

El aplicador no debemos mantenerlo trabajando en vacío, pues el aire no absorbe su energía, sino que se acumula en el cabezal hasta dañarlo. Con los sistemas de protección, antes mencionados, se evitan estos daños que, por otra parte, eran muy frecuentes en los viejos equipos. No obstante, el uso poco cuidadoso termina por deteriorar los cabezales y provocar pérdidas en su rendimiento.

Cuando el cabezal no libera su energía dentro de los límites considerados válidos (que fueron ajustados por el fabricante), el equipo se protege cortando de forma instantánea la

emisión y en el propio cabezal se activa un piloto luminoso que nos informa visualmente del inadecuado trabajo para que intentemos corregirlo sobre la marcha.

## MEDIDOR DE SALIDA EN EL CABEZAL

Para comprobar si un cabezal se halla en buen estado o está deteriorado por el mal uso, algunos aparatos vienen equipados con un detector de *ultrasonidos*, a fin de indicarnos el adecuado funcionamiento y su potencia de emisión. *Todo equipo que no lo incluya no garantiza que las dosis aplicadas coincidan con las deseadas (sobre todo, en aparatos con muchas horas de trabajo). Este sistema detector de la eficacia en el cabezal debería estar incluido en la normativa legal.* En su defecto, podemos apreciar el comportamiento aproximado del cabezal, como a continuación se describe.

En los viejos equipos, con el cabezal orientado hacia arriba, aplicábamos unas gotas de agua en la zona de emisión, poníamos a funcionar el aparato, subíamos la potencia y veíamos cómo se pulverizaban las gotas de agua, siempre que hubiese emisión de energía (Fig. XV. 8). Para ser precisos en esta prueba, debemos comparar la pulverización con un equipo que sepamos se halle en buen estado o recordar cómo lo hacía cuando el aparato no era sospechoso de averías o envejecimiento.

Pero este método no es válido en los equipos modernos o que posean las protecciones antes indicadas. Si deseamos controlar el buen funcionamiento del cabezal en los de última generación y que, a su vez, no dispongan de detector (medidor) de *ultrasonidos*, lo haremos como sigue (Fig. XV. 9).

Introducimos el cabezal dentro de una cubeta con agua, de forma que el haz ultrasónico se oriente hacia el fondo (con una ligera inclinación), donde hemos situado una placa metálica para que refleje las ondas sonoras y vuelvan a la superficie formando un pequeño surtidor, más o menos intenso dependiendo de la potencia regulada. Si el tamaño y aspecto del surtidor guarda relación directa con la potencia aplicada, nos indicará el buen estado del cuarzo y su calibración.

Dada la importancia del buen funcionamiento y rendimiento del cabezal, la normativa indica que el equipo debe ser sometido a chequeos periódicos por la casa fabricante, que dispone de elementos técnicos para ello y, sobre todo, del medidor de potencia (Fig. XV. 10).

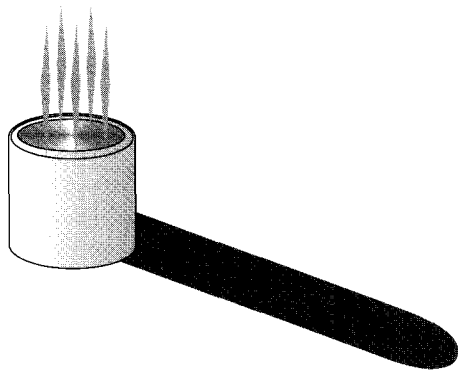


Figura XV.8.

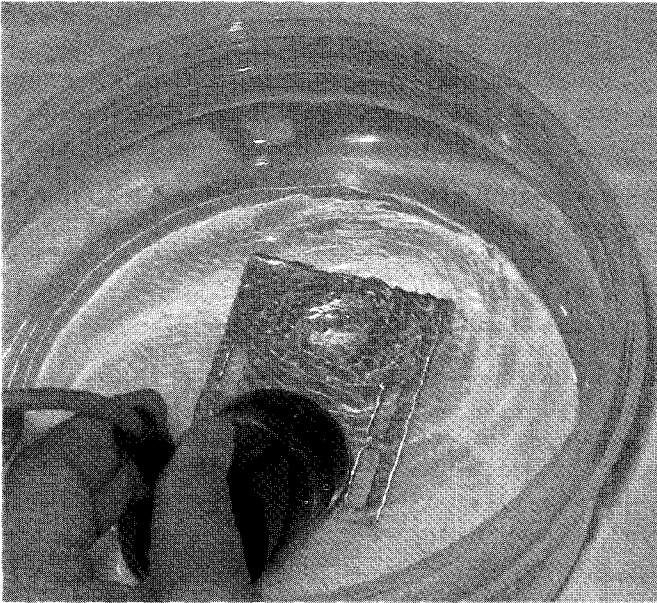


Figura XV.9.

$W/cm^2$  en caso de *ultrasonidos* continuos. Los últimos equipos de *ultrasonidos* reducen el margen superior y en lugar de disponer de  $3 W/cm^2$ , solamente podemos alcanzar  $2 W/cm^2$ , o incluso  $1 W/cm^2$ . Algunos fabricantes permiten que la potencia sea regulada hasta cierto nivel máximo en continuo, mientras el máximo de pulsátil es mayor para compensar las pérdidas.

Como queda explicado más arriba, en el modo pulsátil, la potencia sufre una bajada en proporción inversa a la razón elegida entre tiempo de pulso y tiempo de reposo. Realmente, se trata de aplicar la consabida fórmula de:

$$W_{(media)} = W_{(de\ pico)} \cdot T_{(de\ impulso)} \cdot F_{(en\ Hz)}$$

Pero los fabricantes han elegido otras metodologías de cálculo.

### SUPERFICIE EFICAZ DEL CABEZAL

Otro factor que influye decisivamente en la potencia aplicada y, por supuesto, recibida es la superficie eficaz y tamaño del cabezal, ya que éste es una caja que, en su parte metálica

### SELECTOR PARA VARIOS VALORES DE PULSÁTIL

En los viejos aparatos no sabíamos realmente qué características poseían los *ultrasonidos* aplicados como pulsátiles. En los modernos, se nos informa de los parámetros de cada posibilidad, para trabajar con datos que nos vuelven a conducir al establecimiento del concepto de DOSIS, según la energía recibida en lugar de la energía emitida.

Los equipos aplicadores de *ultrasonidos* nos permiten trabajar con potencias expresadas en  $W/cm^2$  entre 0,1 y 3

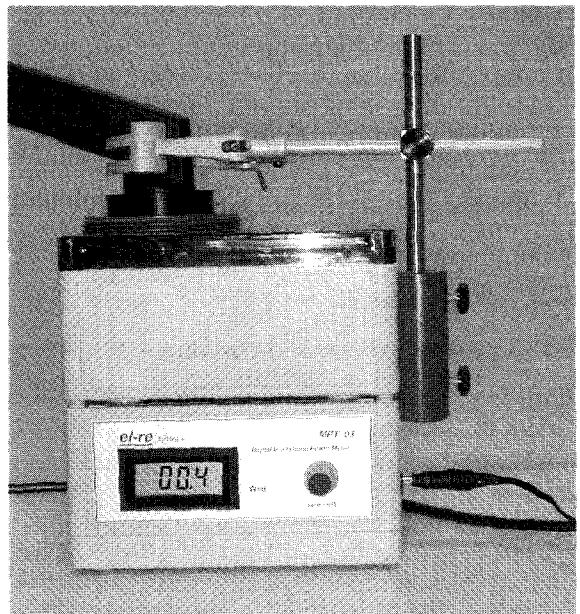


Figura XV.10.

de contacto, contiene el elemento productor de *ultrasonidos* de tamaño menor. Por lo cual y dependiendo de la información aportada por la casa fabricante, la superficie eficaz puede ser de un 10 a un 20% menos de la indicada. En este factor de compensación podemos contemplar el reparto irregular del haz, pues es más potente en el centro que en las orillas de la superficie eficaz.

Por otra parte, el cabezal se desplaza por la piel y hasta que no vuelva a pasar por el mismo punto, los tejidos no recibirán ondas ultrasónicas.

## Dosis real

Los párrafos anteriores nos están introduciendo progresivamente en el concepto de *dosis*. Con facilidad, podemos darnos cuenta de que una zona de tejido puede recibir cantidades de energía muy dispares de unas aplicaciones a otras, si no se tienen en cuenta, suficientemente, los parámetros de:

- potencia aplicada por todo el cabezal;
- tiempo de la sesión;
- superficie de la zona tratada;
- y la cantidad de energía que deseamos sea recibida por los tejidos en cuestión.

Como intento de aproximación a la resolución de este problema, clásicamente se transmite de forma empírica, desde los tiempos iniciales de la aparición de los ultrasonidos, como recomendable:

*1 minuto con cabezal de 5 cm<sup>2</sup>, a 1 W/cm<sup>2</sup> continuo por cada 10 cm<sup>2</sup> de superficie de aplicación*

Según esta vieja fórmula, podemos preguntarnos: ¿cuántos julios recibirá cada centímetro cuadrado durante los 60 segundos? Veamos:

- disponemos de una potencia de 1 W/cm<sup>2</sup> por 5 cm<sup>2</sup> de superficie eficaz del cabezal (como media), 5 W de todo el cabezal;
- superficie de la zona tratada, 10 cm<sup>2</sup>;
- tiempo de funcionamiento = 60 sg;

$$5 \text{ W} \cdot 60 \text{ sg} = 300 \text{ J}$$

$$300 \text{ J generados}/10 \text{ cm}^2 \text{ de la zona} = 30 \text{ J/cm}^2$$

**Podemos concluir que la experiencia, el empirismo y los años de práctica han conducido a diversos autores a establecer como media una dosis de 30 J/cm<sup>2</sup>. Entonces, la dosis será la cantidad de energía recibida por cada cm<sup>2</sup> de superficie tratada, expresada en J/cm<sup>2</sup>.**

De todas formas, es necesario retomar el tema y preguntarse en la actualidad si una dosis de 20 a 50 J/cm<sup>2</sup> es buena, suficiente o excesiva. ¿Dónde está el límite de los efectos no deseados? ¿Es recomendable trabajar con potencias menores y aumentar el tiempo o a la inversa?

*El primer paso que nos vemos obligados a dar consiste en definir con suficiente precisión un sistema de dosificación en lugar de trabajar con parámetros aleatorios. A partir de ese punto, podemos observar, obtener estadísticas, elaborar teorías, etc., pero mientras no usemos los ultrasonidos con suficiente profesionalidad, no podremos hacer aseveraciones sobre sus efectos fisiológicos o terapéuticos.*

Si aplicamos potencia durante un tiempo, estaremos hablando de la ley de Joule, donde trabajo en julios = potencia en vatios por tiempo en segundos (Fig. XV. 11). Dado que la cantidad de energía recibida por los tejidos depende del tiempo, de la superficie, de la potencia aplicada y de la **dosis que nosotros deseamos** depositar, tenemos que utilizar la referida ley de la siguiente forma (Fig. XV. 11 y 12):

En el triángulo de la figura XV. 11 vemos que los Julios totales generados son iguales a la potencia por el tiempo, el tiempo igual a los julios entre la potencia y la potencia igual a los julios totales entre el tiempo. Pero tenemos que sumar la variable de dosis o Julios recibidos en cada  $\text{cm}^2$ , además de añadir una modalidad al concepto de potencia, pues si usamos pulsátil, previamente tendremos que calcular la potencia media aplicada.

Para ello nos trasladamos a la figura XV. 12, en cuyo trapecio hemos sustituido los julios totales por su expresión equivalente de  $\text{J}/\text{cm}^2 \cdot \text{S}/\text{cm}^2$ , es decir, los julios recibidos en cada centímetro cuadrado por los centímetros cuadrados de la zona tratada. De esta forma, mantenemos la igualdad, pero introducimos el parámetro de la dosis. También contaremos, a partir de ahora, con la potencia media, previa aplicación de la tabla XV. 1 y otras consideraciones que pueden venir dadas por la lectura media de la potencia absorbida.

$$J = \text{Julios totales} = W \cdot t$$

$$W = \text{potencia del cabezal}$$

$$t = \text{tiempo en segundos}$$

$$\text{DOSIS en } J_{(\text{cm}^2)} = J_{\text{totales}}/S_{(\text{cm}^2)}$$

$$\text{También } J = J_{(\text{cm}^2)} \cdot S_{(\text{cm}^2)}$$

— Entonces, como fórmula definitiva, usaremos la siguiente:

$$t = \frac{J/\text{cm}^2 \cdot S/\text{cm}^2}{W_m}$$

El tiempo de la sesión es igual a la dosis expresada en julios por cada centímetro cuadrado, por la superficie en centímetros cuadrados, partido entre la potencia media. Si utilizamos pulsátiles, habremos de aplicarle a la potencia la reducción correspondiente (ver tabla XV. 1). Además, en caso de considerar que la sesión sufrirá otras pérdidas en su ren-

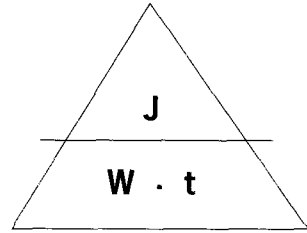


Figura XV.11.

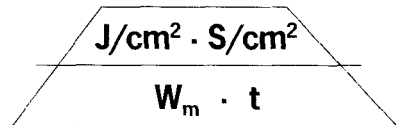


Figura XV.12.

dimiento por malos contactos, deficiente reparto por la zona u otras, a voluntad, podemos compensar con un pequeño aumento en el tiempo calculado de un 5 a un 10%.

### Algunos casos

#### CASO PRIMERO

¿Cuántos J/cm<sup>2</sup> recibirá un paciente ante la siguiente aplicación de *ultrasonidos continuo*?

1,5 W/cm<sup>2</sup>

5 cm<sup>2</sup> del cabezal

150 cm<sup>2</sup> de zona tratada

8 minutos de sesión (480 sg)

$$\text{Dosis} = \frac{1,5 \text{ W/cm}^2 \cdot 5 \text{ cm}^2 \text{ del cabezal} \cdot 480 \text{ segundos}}{150 \text{ cm}^2 \text{ de superficie}} = 24 \text{ J/cm}^2$$

Si la aplicación fuese pulsátil, necesitaríamos corregir con el correspondiente coeficiente de reducción en la potencia.

#### CASO SEGUNDO

¿Cuánto tiempo es necesario para una sesión de *ultrasonidos pulsátil* según las siguientes características?

Razón pulsátil 2:8 (20% de factor ciclo [*duty cycle*])

Potencia 1,5 W/cm<sup>2</sup>

Dosis 30 J/cm<sup>2</sup>

Superficie 150 cm<sup>2</sup>

S. del cabezal 5 cm<sup>2</sup>

$$W_m = 1,5 \text{ W/cm}^2 \cdot 5 \text{ cm}^2 \cdot 20\% = 1,5 \text{ W en todo el cabezal}$$

$$J \text{ totales} = \text{dosis por superficie} = 30 \cdot 150 = 4.500 \text{ J}$$

$$t = \frac{J/\text{cm}^2 \cdot S/\text{cm}^2}{W} = \frac{4.500}{1,5} = 3.000 \text{ sg}$$

$$3.000/60 = 50 \text{ minutos}$$

Si los efectos fisiológicos buscados hubieran sido de ultrasonidos continuos, por haber usado pulsátiles, el tiempo se habría disparado. Pero, si los efectos son los propios de pulsátil, con menos tiempo será necesario, aunque tendríamos que subir la potencia (ver epígrafe «Los efectos del pulsátil»).



## CASO TERCERO

¿Cuánto tiempo es necesario para una sesión de *ultrasonidos continuo* según las siguientes características?

Potencia	1,5 W/cm <sup>2</sup>
Dosis	30 J/cm <sup>2</sup>
Superficie	150 cm <sup>2</sup>
S. del cabezal	5 cm <sup>2</sup>

$$W = 1,5 \cdot 5 \text{ cm}^2 = 7,5 \text{ W}$$

$$J = \text{dosis por superficie} = 30 \cdot 150 = 4.500 \text{ J}$$

$$t = \frac{J/\text{cm}^2 \cdot S/\text{cm}^2}{W} = \frac{4.500}{7,5} = 600 \text{ sg}$$

$$600/60 = 10 \text{ minutos}$$

El segundo y tercer ejemplos son semejantes, salvo que en el segundo la aplicación es pulsátil y en el tercero, continuo, razón que provocará las diferencias tan marcadas en el tiempo de la sesión.

Existen otros factores que van a influir más o menos decisivamente en la sesión y sus resultados, tales como:

- profundidad de penetración;
- zona de conducción y zona de absorción;
- reflexión de parte del haz;
- refracción de parte del haz;
- ondas estacionarias;
- divergencia del haz;
- nódulos de intensidad;
- dispersión por toda la zona y
- algunos más de menor importancia.

Vamos a detenernos en éstos para saber su explicación física y tenerlos en cuenta cuando apliquemos *ultrasonidos*, aunque no sean tan decisivos por la influencia en la dosis.

### Profundidad de penetración

Se considera como bueno que las ondas de ultrasonidos tengan una penetración de unos centímetros: de 3 a 5 según unos autores y hasta 10 o más centímetros según otros, cayendo su poder de penetración en progresión exponencial. La causa de la caída en su penetración se debe a la absorción de la energía según avanza por los tejidos (lógicamente, en

unos más que en otros). La frecuencia de 1 Mhz penetra más que la de 3 Mhz. Desde la utilización de los ultrasonidos como técnica de ecografía, podemos aclarar muchas dudas que se nos planteaban ante la penetración o el comportamiento de los diferentes tejidos.

En ecografía, los ultrasonidos siempre son pulsátiles. Además, necesitamos saber las condiciones de razón pulso reposo, la potencia usada y comparar con la frecuencia de 1 ó 3 Mhz.

Dado que son ondas sonoras, los técnicos diseñadores de los equipos para ecografía miden la potencia en decibelios, mientras que nosotros hablamos de vatios. La fórmula para traducir vatios a decibelios es como sigue:

$$\text{Pot. en decibelios} = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{\text{Pot. en vatios}}{0,00002} \right)$$

Para la técnica de exploración por ecografía con ultrasonidos se emplean de modo pulsátil, 50 Hz de frecuencia pulsátil, 1 Mhz de frecuencia portadora y unos 75 decibelios para penetrar alrededor de 15 cm. Si nosotros, en nuestros tratamientos, usamos de modo pulsátil 5 vatios (en todo el cabezal) ¿penetraremos mucho o poco...?

Calculemos previamente los decibelios que aplicamos.

$$\text{Pot. en decibelios} = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{5}{0,00002} \right) = 107,95 \text{ decibelios}$$

De considerar que 75 decibelios penetran alrededor de 15 cm, por regla de tres, ¿cuánto penetrarán 107,95 decibelios? Esto nos demuestra que si en ecografía se consigue penetrar a cierta distancia con potencias superiores usadas en fisioterapia, la penetración será mucho mayor.

Queda implícito que la potencia aplicada influye directamente en la profundidad alcanzada. Luego, cuando pretendamos alcanzar profundidad en nuestras aplicaciones consideraremos la frecuencia de 1 Mhz y la potencia. La potencia de pico o alcanzada en cada pulso es importante para la penetración, aunque su potencia media resulte baja por utilizar una razón de (pulso: reposo) baja. (Por ejemplo, 1:9).

## ZONA DE CONDUCCIÓN Y DE ABSORCIÓN

Cuando en ecografía se utiliza la vejiga repleta de orina como ventana conductora para acceder a tejidos posteriores a ésta, es porque la vejiga se comporta como muy buena conductora sin absorber ni reflejar ondas sonoras. Esto nos indica que atacaremos a distintos tejidos con diferentes niveles de conductividad o de absorción, dándose en los primeros centímetros el efecto de conducción y, en profundidad, el de absorción y transformación de la energía ultrasónica en otra.

El efecto de conducción se concentra más en el centro de la superficie aplicadora del cabezal, debido al nódulo de máxima que se genera. Asimismo, a mayores potencias, mayor zona de conducción. Con 1 Mhz, mayor zona de conducción y la absorción será más profunda.

La utilización de potencias medias altas provoca que la transformación de una energía en otra se consiga de forma rápida pudiendo saturar los tejidos y dañarlos (fenómeno detectable con el pinchazo ultrasónico cuando se dañan las terminaciones nerviosas). Es por esto que muchas escuelas recomiendan potencias tendentes a bajas, lo cual implica aumento en el tiempo de la sesión.

Asimismo, aparecen tendencias que pretenden dosificar los ultrasonidos mediante un sistema estacionario o semiestacionario, basado en aplicar, previamente, «a cabezal quieto» mucha potencia, hasta que aparezca el pinchazo doloroso. Según el tiempo transcurrido desde la aplicación hasta el momento del dolor, se establecen tablas indicadoras de la reducción en potencia aplicable moviendo el cabezal. Estos intentos para mejorar los sistemas de dosificación son loables y dignos de consideración, pero se debe señalar aquí que el estímulo o pinchazo doloroso aparece antes o después, dependiendo de la reacción inflamatoria de la zona, pues de hecho, esta técnica se utiliza para localizar tejidos sometidos a patología. Por otra parte, si no se considera la superficie tratada, la energía depositada o el tiempo de la sesión, el sistema no será válido para dosificar.

## REFLEXIÓN

En el haz de *ultrasonidos*, al pasar de un medio a otro, por su diferencia de densidad, se refleja parte de él y, por consiguiente, cuanto más homogéneos sean los medios, menor porcentaje de reflexión aparecerá.

## REFRACCIÓN

Al igual que ocurre con la reflexión, y por los mismos motivos, parte del haz cambia de sentido en un determinado ángulo.

## ONDAS ESTACIONARIAS

Por causa de las reflexiones, refracciones y ondas de rebote, se llega a interferir sobre el haz principal, hasta tal punto que amortiguan el haz incidente en un serio porcentaje. En determinadas circunstancias puede llegar al 90% de anulación. Cuando los tejidos conducen las ondas con facilidad, entrando en resonancia y sin provocar pérdidas, consideramos que el rendimiento conductor es máximo, mientras que si aparece resistencia a la conducción del sonido, las ondas se alteran en su frecuencia, longitud de onda y velocidad de conducción, entorpeciendo el avance y provocando su absorción y transformación (**que, por otra parte, es el efecto buscado**).

## DIVERGENCIA DEL HAZ

El haz no es paralelo a lo largo de su longitud, sino que diverge de forma cónica, perdiendo parte de su potencia por esta causa. La angulación de la dispersión, junto a la oblicuidad con que el haz aborda el plano de los tejidos, serán las variables más importantes que generan la refracción y la reflexión.

## NÓDULOS DE INTENSIDAD

El haz no es homogéneo en su densidad, sino que presenta zonas de mayor concentración energética separadas por zonas débiles.

## DISPERSIÓN POR LA ZONA

Debido a las reflexiones y refracciones continuadas que se generan, las ondas ultrasónicas abundan y rebotan entre tejidos, al no ser fácil su salida al exterior por la gran resistencia que opone el aire. Los distintos haces así generados pueden recorrer zonas amplias y distintas a la tratada si consideramos las fuertes potencias usadas.

## ZONAS DE CONCENTRACIÓN

En los puntos y planos donde el haz se ve obligado a cambiar de tejido, coinciden los siguientes fenómenos: haz de incidencia, cierto componente reflejado, cambio de trayectoria por refracción, cambio de longitud de onda, de forma que en unos momentos, podría aparecer concentración o sumación de energía mecánica, la cual causaría destrucción de tejidos por exceso de compresión o por exceso de succión (cavitación [Fig. XV. 13]), mientras que en otros momentos, pueden llegar a anularse unos haces a otros.

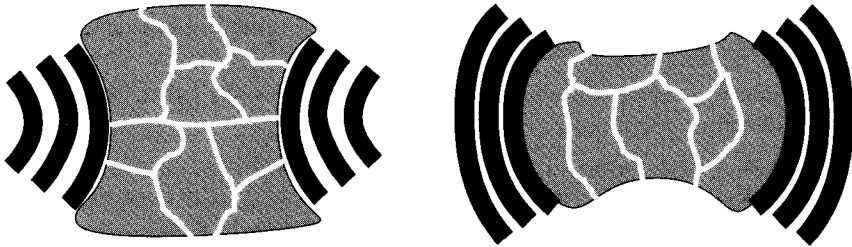


Figura XV.15.

## ONDAS DE RETORNO

Existe cierta polémica sobre la influencia de las ondas de rebote generadas por el cabezal, emitidas hacia su parte posterior, ondas que recibiría el terapeuta.

Dependiendo de los distintos autores, la experiencia de los profesionales y de las casas constructoras, nos encontraremos con opiniones diversas, unas que procuran restar importancia al tema, mientras otras tienden a exagerarlo.

Cierto es que las ondas se generan en ambos sentidos, en uno son absorbidas y conducidas a otro medio (el paciente), mientras que hacia su parte posterior la energía cinética generada se encontrará con aire, con materiales plásticos del cabezal, (se tienden a evitar los metales) con dispositivos electrónicos internos del cabezal, con materiales absorbentes dispuestos para esta función, etcétera.

Algunos fabricantes consideran esta cuestión como seria y publicitan las medidas aplicadas, en tanto que otros lo eluden.

La experiencia cotidiana nos conduce a afirmar que ciertos terapeutas que aplican *ultrasonidos*, frecuentemente, sufren dolores en la mano y muñeca, los cuales, intuitivamente, tratan de resolver con guantes o sobreponiendo a los mangos de los cabezales acolchamientos o envolturas de «goma espuma», con buenos resultados.

Es importante, a la hora de la adquisición de los equipos de ultrasonidos, considerar la protección que el fabricante ha aplicado en la construcción.

## Efectos sobre el organismo

Cuando hablábamos de la energía electromagnética (sobre todo, de alta frecuencia) aclarábamos que la energía aplicada a la materia y, en este caso, al organismo es conducida, absorbida y transformada en los tejidos. Cuando aplicamos *ultrasonidos*, estamos utilizando energía cinética, la cual será conducida, absorbida y transformada en otra energía de acuerdo con la impedancia de los tejidos y características de potencia, frecuencia y forma de aplicación.

Los ultrasonidos manifiestan dos efectos fundamentales o primarios:

- mecánico;
- calórico.

Aplicando *ultrasonidos continuos*, el efecto mecánico consiste en la vibración a que se ven sometidos los tejidos por conducirlos. Si la vibración se realiza sin oposición de resistencia (entrando los tejidos en resonancia), los efectos fisiológicos, prácticamente, no existirán. Pero, si la oscilación de los tejidos (a 1 ó 3 Mhz) encuentra resistencia a la deformación y conducción, se generará energía térmica por roce, aunque no tanto en roce intertissular, sino que, fundamentalmente, será por roce intermolecular o agitación del medio electrolítico de los líquidos intersticiales e intracelulares, tanto del agua como de los solutos en ella contenidos.

El agua en las disoluciones se comporta como disolvente, es decir, iones de carga positiva por un lado e iones de carga negativa por otro, para unirse a otras moléculas de los solutos o enlazarse entre sí para formar racimos moleculares de  $H^+$ ,  $OH_3^+$  y  $OH^-$  hasta componer gotas de agua libre, cohesionadas por la fuerza eléctrica de la estructura arracimada. Estas gotas de agua pueden ser mayores o menores según la abundancia de otros iones. Pero si estos «racimos moleculares» (gotas de agua) son sometidos a vibración ultrasónica, se dividirán, se desaglutinarán, se dispersarán en pequeñas gotículas que darán al disolvente mayor poder para dispersar otras moléculas aglutinadas entre sí o cristalizadas en su ambiente de disolución (Fig. XV. 14).

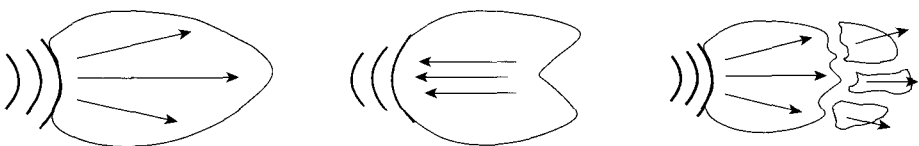


Figura XV.14.

Además, cuando las disoluciones se hallan sobresaturadas de uno o varios solutos, éstos se aglutinan para formar sus propios racimos (deficitarios en agua), tendiendo a provocar la sedimentación y la coagulación (Fig. XV. 15). Si estas cadenas moleculares o cristales con tendencia al estado de gelatina reciben vibración ultrasónica, serán desmoronadas y dispersadas por el ambiente de la disolución.

La agitación de las disoluciones cargadas de electrolitos desencadenará aumento del movimiento Browniano y la aceleración de esta actividad generará calor, tendencia al estado de disolución fluida y aumento de las posibilidades de nuevas reacciones electroquímicas.

El calor generado por transformación de dicha energía cinética en el interior de los tejidos suele quedar en límites subliminales para los termorreceptores o alcanzar un nivel ligeramente supraliminal, dependiendo de la potencia, superficie de aplicación y tiempo. Es por ello por lo que se discute con frecuencia el efecto térmico de los ultrasonidos. Pero dejemos claro que, siempre que apliquemos una energía a cualquier materia, ésta generará o transformará parte de la energía aplicada en térmica (de acuerdo con la física).

Si la aplicación es de *ultrasonidos pulsátiles*, el efecto propio del continuo se reducirá en un porcentaje importante (ver Tabla XV. 1), pero inyectaremos 50 ó 100 ráfagas por segundo, generando una nueva vibración de 50 ó 100 veces por segundo, con efectos de mayor componente de roce tisular, deformación celular y deformación del colágeno.

La vibración de 50 Hz es la producida por un clásico vibrador eléctrico para masaje conocido por todos (conectado directamente a la red eléctrica de 50 Hz).

A modo de ejemplo, podríamos comparar los ultrasonidos con un martillo neumático talastrando el asfalto: cuando el martillo suena insistentemente sin parar, la aplicación sería continua; si oímos ráfagas repetitivas, entonces la aplicación será pulsátil.

Si deseamos dar importancia y fuerza a las ráfagas o pulsos de 50 ó 100 Hz (según elección), tendremos muy en cuenta aumentar la potencia (Fig. XV. 16).

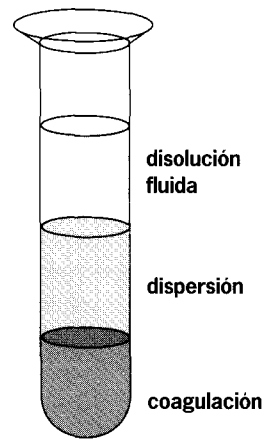


Figura XV.15.

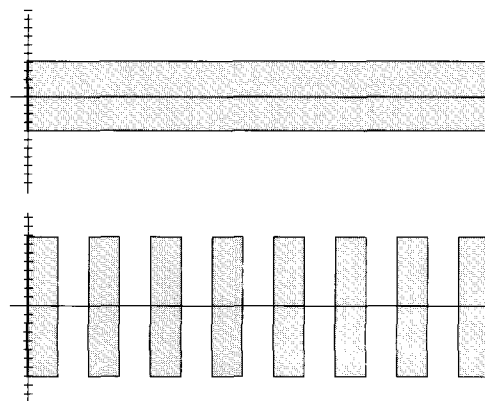


Figura XV.16.

Luego, resumiendo los párrafos anteriores, los *ultrasonidos continuos* generarán roce y calor en las disoluciones contenidas entre los elementos formes, mientras que los *ultrasonidos pulsátiles* generarán roce y calor en los elementos formes que contienen las disoluciones.

Aplicaremos la misma energía si practicamos una sesión con *ultrasonidos continuo* a una potencia X que si la practicamos con el doble de potencia, pero en *pulsátil* con la razón de 1:1 pulso reposo (50% *duty cycle*) (Fig. XV. 16). Además de conservar la misma eficacia como *ultrasonidos continuos*, superponemos el doble efecto de *pulsátil*.

Otro tercer efecto conseguido con la aplicación de ultrasonidos es el generado por el masaje del cabezal sobre la zona. Este fenómeno es tan importante, y sus efectos terapéuticos específicos tan sobresalientes, que en multitud de ocasiones, los resultados positivos o negativos de una sesión de ultrasonidos pueden quedar camuflados o alterados.

Como consecuencia de los *tres efectos*, se producen una serie de reacciones en el organismo.

## 1. AUMENTO DEL MOVIMIENTO BROWNIANO Y CALOR

Cuando el ambiente electrolítico de los líquidos intersticiales (Fig. XV. 17) tiende a coagularse, es porque:

- se halla sometido a procesos edematosos;
- a procesos inflamatorios cronificados;
- ambientes intersticiales atrapados y retenidos por contracturas musculares;
- líquido intersticial atrapado y contenido en redes de colágeno (celulitis);
- procesos metabólicos que tienden a generar gelatinización por coagulación o sedimentación de electrolitos del medio.

Los *ultrasonidos continuos* producen un «*batir electrolítico*» que diluye los procesos de gelatinización hasta conseguir de nuevo un ambiente de disolución, donde se favorecerán:

- los intercambios iónicos;
- el ascenso de la temperatura;
- la nutrición celular;
- mejora del nivel de polarización de membrana;
- el metabolismo más activo;
- liberación de sustancias generadoras de dolor o respuesta inflamatoria;
- mejora de la circulación linfática al fluidificar la linfa.

Parte del calor generado se pierde al refrigerarse mediante el gel transmisor, normalmente frío o al secar la piel humedecida por el gel o, tal vez, el alcohol utilizado para su limpieza.

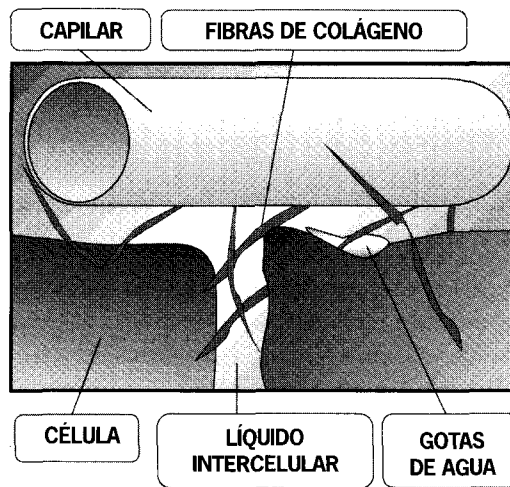


Figura XV.17.

Usualmente la zona tratada queda fría, estímulo que anula respuestas neurovegetativas que hubieran sido desencadenadas por el *supuesto efecto térmico*.

Es muy interesante aplicar *inmediatamente* de 5 a 10 minutos de infrarrojos sobre la zona, para anular la refrigeración superficial intentando compensar y reforzar las respuestas neurovegetativas de vasodilatación, relajación muscular y alivio de posibles dolores.

## 2. MICROMASAJE TISULAR

Cuando el ambiente de una determinada zona orgánica se encuentra indurado, empastado, gelatinizado, fibrosado (conteniendo la linfa de forma edematosa y coagulada) es porque, después de un viejo proceso inflamatorio no resuelto, el organismo opta por favorecer la proliferación de fibrina para crear una red de colágeno en las tres dimensiones, atrapando en su interior elementos formes, conductos circulatorios, terminaciones nerviosas y líquidos que los rodean (estamos hablando de la celulitis).

Los ultrasonidos pulsátiles generan un micromasaje sobre los elementos formes, produciendo movilización repetitiva entre ellos, hasta liberar unos de otros o aumentar la elasticidad del colágeno para permitir la movilidad y el desplazamiento de líquidos atrapados en la red.

*La aplicación de ultrasonidos requiere de una previa exploración palpatoria con el fin de detectar el estado de los tejidos que se van a tratar, de forma que si palpamos tejidos fibrosados, dolorosos a la deformación, empastados y con ligero proceso inflamatorio, tal vez, lo más lógico sería aplicar, en primer lugar, parte de la sesión con pulsátil, buscando ablandar la fibrosis, pasando a otra segunda parte de continuo, destinada a la mejora del ambiente electroquímico y sus consiguientes efectos metabólicos.*



Si la palpación es de ambiente edematoso, blando, fácil de deformar, con fóvea, sin fibrosis, nos hallaremos ante la indicación de *continuos* para disolver los líquidos estancados y densificados, pero sin «continente» de red fibrosa.

Es normal encontrarnos etapas intermedias entre ambas situaciones extremas, por lo cual, debemos saber escoger la metodología más eficaz:

- unas veces, solamente pulsátil, con mayor o menor componente de continuo;
- otras, únicamente continuo y
- las más, debiéramos dividir la sesión en dos o tres modalidades buscando distintos efectos de forma sucesiva y atendiendo a una estrategia que consideremos adecuada a la fisiopatología del proceso.

No podemos olvidar que los *pulsátiles* pierden potencia media o componente de *continuo*, situación que debemos compensar con la subida de potencia de pico. Cuanto mayor sea la razón entre pulso-reposo, mayor será la compensación de potencia. Algunos equipos aplicadores de ultrasonidos compensan automáticamente esta pérdida al pasar de continuo a pulsátil sin modificar el mando regulador de potencia. Esta forma de funcionamiento de ciertos equipos ha llegado a provocar la polémica de que «los ultrasonidos pulsátiles son más potentes que los continuos». Pues nada más lejos de la realidad, siempre que partamos de la misma potencia tanto para continuo como para pulsátil.

La potencia media influye en conseguir estos efectos con mayor o menor rapidez, es decir, suponiendo que los  $30 \text{ J/cm}^2$  son adecuados como dosis media. Los treinta julios podemos aplicarlos en poco tiempo (rozando los límites de agresión) o muy lentamente (sin estimular apenas al tejido). No está muy clara esta cuestión, pero partiendo de la experiencia y empirismo, consideremos la potencia de  $1 \text{ W/cm}^2$  del cabezal, como media (continuo).

Al igual que necesitamos concretar dosis para distintas patologías, es básico encontrar las potencias a utilizar para influir en la penetración, en el tiempo de la sesión, evitar molestias al paciente, en los efectos terapéuticos, etc. A fin de encontrar dosis y potencias recomendadas, es conveniente eliminar los barridos por la zona y practicar aplicaciones a cabezal fijo.

### 3. MASAJE DEL CABEZAL

En patologías muy concretas, podemos aplicar el cabezal sin desplazarlo «a cabezal fijo», pero es más habitual establecer un barrido por la zona destinada y calculada como superficie de tratamiento.

Si masajeamos o amasamos con nuestras manos una zona sometida a patología (fundamentalmente con alteraciones crónicas o subagudas), todos tenemos claros los efectos terapéuticos del referido masaje.

Si, además de los efectos propios de las ondas ultrasónicas, masajeamos la zona (Fig. XV. 18), sumaremos efectos de:

- elastificación de los tejidos;
- liberación de tegumentos;

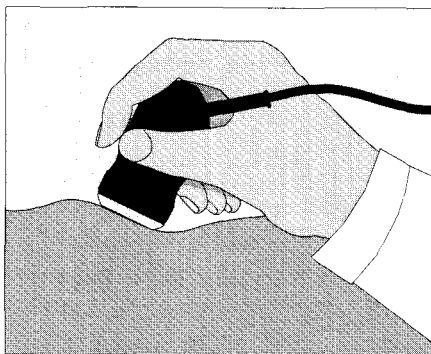


Figura XV.18.

- mejora circulatoria por masaje evacuatorio en los vasos de la zona (tanto sanguíneos como linfáticos);
- estímulo de los mecanorreceptores y exteroceptores «que pueden» inhibir el dolor (siempre que el nivel de inflamación no sea alto);
- relajación muscular (si los ultrasonidos se aplican sobre músculos contracturados).

Cuando el proceso inflamatorio es muy agudo, tanto que la palpación se convierte en dolorosa, de aplicarlos, se hará con suavidad, poca presión y sin tener en cuenta el masaje y deformación de tejidos al paso del cabezal. Pero en procesos crónicos, fibrosados, contracturas musculares, debemos poner atención en considerar el cabezal como prolongación de nuestra mano para amasar la zona aplicando la presión y trazado que consideremos conveniente.

#### 4. SONOFORESIS

Se tiene en cuenta, un aumento de la penetración del radical medicamentoso que empleamos (en sustitución del gel típico), y se discute sobre él, como deslizante para el cabezal y transmisor de los ultrasonidos. Este posible efecto requiere de una mejor demostración.

### Tratamiento combinado de ultrasonidos con electroterapia

Desde hace unos años se ha iniciado una práctica según la cual, a la vez que se aplicaban *ultrasonidos*, por el cabezal se inyectaban simultáneamente corrientes de baja o media frecuencia (Fig. XV. 19). Esta práctica está apoyada en razones fisiológicas propias de las respuestas a las corrientes de baja frecuencia y a las de media frecuencia (las habitualmente mal denominadas interferenciales de dos polos).

El modo de aplicación requiere de algunas consideraciones previas, tales como:

- disponer de un equipo aplicador de terapias combinadas o dos que se interconecten, uno de ultrasonidos y otro de corrientes;
- saber enlazar ambos equipos al paciente (Fig. XV. 19).

- pensar que la corriente emerge de la parte metálica del cabezal;
- elevaremos poco la intensidad de las corrientes;
- no se buscan respuestas motoras (salvo en determinadas ocasiones);
- solamente se buscan respuestas moderadas (*no molestas*);
- prestar especial precaución con las corrientes que mantengan un importante componente galvánico;
- trabajar en modo corriente constante (CC) para evitar, en lo posible, quemaduras de las corrientes con componente galvánico;
- trabajar en modo voltaje constante (VC) ante corrientes de media frecuencia o cuando busquemos puntos gatillo.

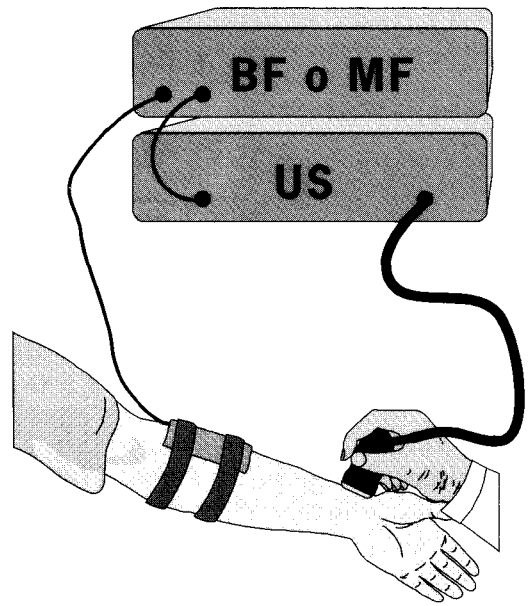


Figura XV.19.

Los efectos o respuestas fisiológicas más buscadas con las corrientes (sin entrar ahora en la parte de ultrasonidos) pueden ser:

### 1. ESTÍMULO SENSITIVO DE LAS TERMINACIONES SUPERFICIALES PARA DESENCADENAR REFLEJO MOTOR SOBRE MUSCULATURA LISA DE LOS VASOS LINFÁTICOS

Se considera que las paredes de los colectores linfáticos, formadas por musculatura lisa, se contraen peristálticamente, y lo hacen en cadencias de una contracción cada 4-6 segundos. Este peristaltismo, «parece ser», es posible activarlo o acentuarlo provocándolo por la estimulación de las terminaciones nerviosas exteroceptivas mediante el reflejo *cutivisceral*.

Si acentuamos y aumentamos la evacuación de linfa en la zona, mejoraremos la renovación del ambiente intersticial (ambiente que está siendo licuado con la superposición de ultrasonidos) y, una vez licuado, será eliminado y renovado por las vías linfáticas con mayor eficacia.

La corriente ayuda en este caso a la terapia ultrasónica, por lo que la potencia de los ultrasonidos y su dosis deben considerarse como terapia principal.

La corriente usada de BF debe estar formada por:

- pulsos cortos (0,1 ms);
- cuadrangulares bipolares o monopolares;
- frecuencia próxima a los 100 Hz;

- agrupados en trenes de alrededor de 1 sg y
- pausa entre trenes próxima a los 5 segundos.

La intensidad de la corriente debe elevarse lo suficiente como para que el paciente detecte claramente el estímulo eléctrico, sin que llegue a molestarle. El paciente puede manifestar, en algunos puntos o zonas afectas, hipersensibilidad a la corriente, usualmente debida a la inflamación local. Operaremos con la intensidad eléctrica para que el paciente no sienta molestias.

## 2. ESTÍMULO SENSITIVO INTENSO QUE DESENCADENE RESPUESTAS NEUROVEGETATIVAS DE VASODILATACIÓN, ENROJECIMIENTO Y AUMENTO DEL METABOLISMO EN LA ZONA

Si somos capaces de alcanzar aumento de la vasodilatación y mejora del riego sanguíneo, probablemente, contribuiremos a licuar el ambiente intersticial, a mejorar el trofismo, aporte de más calor, mejora de la diapédesis en una zona que se supone pobre en intercambios iónicos. Es decir, estamos reforzando los mismos efectos que intentamos mediante la aplicación de la energía cinética de los ultrasonidos.

La corriente aplicada debe buscar un estímulo sensitivo que roce el umbral de la irritación desagradable, con el fin de provocar al sistema neurovegetativo para que desencadene la vasodilatación. Ésta debe estar formada por:

- pulsos cortos (alrededor de 0,1 ms);
- cuadrangulares;
- bipolares o monopolares;
- frecuencia próxima a los 100 Hz;
- para formar una corriente de aplicación continuada (sin trenes) y
- si la aplicación es monopolar (con componente galvánico) debe aplicarse el (-) en la zona.

Este estímulo sensitivo debe contribuir a la analgesia de la zona a modo de la técnica de estimulación nerviosa transcutánea (TNS) mediante el efecto puerta o secreción de neurotransmisores de inhibición en la zona. Ver el capítulo VIII.

La dosis ultrasónica debe prevalecer sobre los efectos de la corriente, excepto si el objetivo fundamental se basa en aplicar las corrientes usando el cabezal a modo de electrodo puntual.

## 3. CORRIENTES QUE CONSERVEN UN ALTO COMPONENTE GALVÁNICO (COMO LAS CUADRANGULARES O DIADINÁMICAS), CON EL OBJETIVO DE INFLUIR EN LA ELECTROQUÍMICA DE LA ZONA TRATADA

Lo expuesto en el punto 2 podemos transcribirlo aquí, salvo que la corriente utilizada aumenta ahora considerablemente su componente galvánico, con lo cual, deberemos valo-

rar si nos conviene aplicar el (+) o el (-). El positivo es adecuado en procesos de inflamación aguda, mientras que en procesos subagudos y cronicados seleccionaremos el negativo.

Debemos recordar que el negativo produce una tendencia del medio electroquímico hacia la alcalinidad o aumenta el pH de la zona, mientras que el positivo genera lo contrario.

La corriente usada (en caso de cuadrangular) debe estar formada por:

- pulsos ajustados al componente galvánico deseado;
- cuadrangulares;
- monopolares;
- frecuencia próxima a los 100 Hz, pero ajustada al componente galvánico deseado;
- aplicación de modo continuado.

Esta aplicación requiere de ciertos cuidados en cuanto a la intensidad regulada, pues podemos producir pequeñas quemaduras en la piel (no olvidemos que lo estamos haciendo a través de un metal, aunque éste se halle separado de la piel por el gel transmisor). Siempre que sea posible, ajustaremos el equipo de electro para que trabaje en corriente constante (CC). **Nunca aplicar la corriente galvánica pura.**

Si usamos *diadinámicas*, elegiremos la corriente monofásica fija (MF) con preferencia sobre los cortos o largos períodos (CP o LP). Éstas generan, a su vez, estímulo sensitivo importante.

La dosis de la terapia ultrasónica debe ajustarse de forma adecuada como objetivo principal o pasarse a un segundo plano para estar más pendientes de las precauciones que estas corrientes merecen cuando poseen un componente galvánico alto.

#### 4. CORRIENTES SIN COMPONENTE GALVÁNICO (DE MEDIA FRECUENCIA) PARA CONSEGUIR ESTÍMULOS SENSITIVOS FÁCILMENTE SOPORTABLES SIN RIESGO DE QUEMADURA

Las corrientes de media frecuencia, mal llamadas interferenciales bipolares, presentan la ventaja de no poseer polaridad, es decir, no comportan componente galvánico, resultando ser muy bien soportadas y consiguen gran penetración. Estas corrientes se caracterizan, además, porque su aplicación habitual es en forma de barridos de frecuencia, lo cual, según la teoría de Adams, genera analgesia en los trayectos nerviosos y bloqueo del dolor en la formación reticular medular por el efecto puerta.

Podemos elegir barridos de 80-100, por ser frecuencias muy específicas para los exteroceptores y su velocidad de conducción, a fin de que, por vía sensitiva, desencadenen respuestas ya descritas en los epígrafes 2 y 3. También podemos seleccionar el barrido 0-100, tratando de provocar contracciones de los vasos sanguíneos con las frecuencias próximas al cero y respuestas sensitivas con las frecuencias próximas al cien (ver capítulo de *Media frecuencia*).

La dosis de ultrasonidos debe ser el objetivo básico y, en consecuencia, se ajustará a los parámetros pertinentes para la ocasión. La intensidad de la corriente debe adaptarse a los

efectos pretendidos, bien como respuesta sensitiva sin provocar dolor ni contracciones musculares, o bien como respuesta motora si ésta se adecua a nuestras pretensiones.

#### 5. CORRIENTES CON O SIN COMPONENTE GALVÁNICO (DE BAJA O MEDIA FRECUENCIA) PARA CONSEGUIR ESTÍMULOS MOTORES EN FORMA DE VIBRACIÓN MUSCULAR

Con frecuencias fijas de 1 a 6 Hz o barridos de 1 a 6 Hz, podemos conseguir que las masas musculares sobre las que deslizamos el cabezal (o lo mantenemos fijo) se contraigan de forma vibratoria buscando la relajación de los músculos contracturados y la movilización de las cápsulas articulares próximas, para estimular los mecanorreceptores que desencadenan la secreción de neurotransmisores inhibidores del dolor.

La intensidad, en este caso, debe ser suficientemente alta como para conseguir respuestas motoras claras, pero no molestas. De las corrientes posibles, lógicamente, seleccionaremos aquella menos molesta y que resulte más eficaz (generalmente, media frecuencia o pulsos bifásicos de baja). El equipo de corriente debe ajustarse para que trabaje en tensión constante (VC).

La potencia de ultrasonidos o su dosis debe pasar a un segundo plano, aplicando la mínima indispensable para que funcione el sistema.

#### 6. LOCALIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE PUNTOS GATILLO MEDIANTE CORRIENTES DE BAJA FRECUENCIA QUE GENEREN IMPORTANTE ESTÍMULO SENSITIVO SIN COMPONENTE GALVÁNICO

Para ello, trataremos de conseguir que emerja por el cabezal una corriente mantenida, en frecuencia fija próxima a los 100 Hz, sin componente galvánico, con pulsos cortos y bifásicos e intensidad suficiente como para generar un estímulo sensitivo claro sin molestar. Al iniciar el desplazamiento lento del cabezal en busca de los puntos gatillo, nos deslizaremos por zonas donde la corriente comienza a sentirse como molesta, es decir, hemos localizado una zona hipersensible al estímulo eléctrico.

Si únicamente el paciente manifiesta hipersensibilidad, sabremos que hemos encontrado una zona afecta por un proceso inflamatorio. Pero si, además, manifiesta que el estímulo aplicado le genera un reflejo a cierta distancia y sobre la patología, sabremos que realmente nos hallamos sobre dichos puntos gatillo. *No confundir los puntos gatillo con el estímulo directo de un nervio.*

Para realizar el tratamiento, se mantiene el cabezal sobre el punto y se regula la intensidad de la corriente hasta que paciente la tolere perfectamente, pero que la sienta intensamente, aunque sin alcanzar respuesta motora mantenida. Se detendrá el cabezal una media de 90 segundos, mejor mantenerlo hasta que desaparezca la repuesta refleja o la contracción muscular tratada. Normalmente necesitaremos retocar la intensidad a lo largo del tratamiento en el mismo punto. Después de terminar con un punto, buscaremos otros y los trataremos de forma sucesiva.

Para que esta técnica funcione, los equipos de estimulación eléctrica deben ajustarse en voltaje constante (VC), pues si trabajara en (CC), muchos o casi todos los puntos no se manifestarían. Ello es debido a la disminución de la resistencia en los referidos puntos. De manera que, cuando el equipo trabaje en (VC), al pasar sobre un punto gatillo, aumentará bruscamente el paso de la intensidad. Pero, si trabaja en (CC), en ese instante disminuirá el voltaje para mantener la misma intensidad, generando una bajada en la sensibilidad. La potencia de ultrasonidos se reducirá al mínimo posible, ya que el cabezal se utiliza fundamentalmente a modo de electrodo puntual, a no ser que tratemos el punto gatillo con ultrasonidos también.

## Características mínimas para un equipo de ultrasonidos

Un moderno equipo para aplicar ultrasonidos debe permitir dosificar correctamente, ya que la dosificación en cualquier técnica es cuestión fundamental.

En la figura XV. 20 podemos apreciar el frontal de un aparato que, en dos líneas de mandos superior e inferior, de izquierda a derecha nos muestra los siguientes controles:

- display y dos teclas para ver la dosis que ajustamos con las teclas, dosis expresada en  $J/cm^2$  (uno de los parámetros fundamentales);
- display con dos teclas para representar y ajustar la potencia *media* deseada (bien  $W$  de todo el cabezal o en  $W/cm^2$  del cabezal). Otro parámetro que ajustaremos y será de los más importantes. El valor representado estará condicionado por el modo de trabajo: en continuo, en pulsado y en qué razón de pulso-reposo se encuentra;
- display con dos teclas para indicar al equipo la superficie que hemos decidido y medido en la zona corporal tratada. Parámetro que se representa en  $cm^2$ ;
- display y dos teclas para ajustar un factor o coeficiente considerado que influiría para compensar pérdidas en dosificación. Podemos aumentar o disminuir haciendo que la cifra sea positiva o negativa (0% representa que el coeficiente no se aplica);

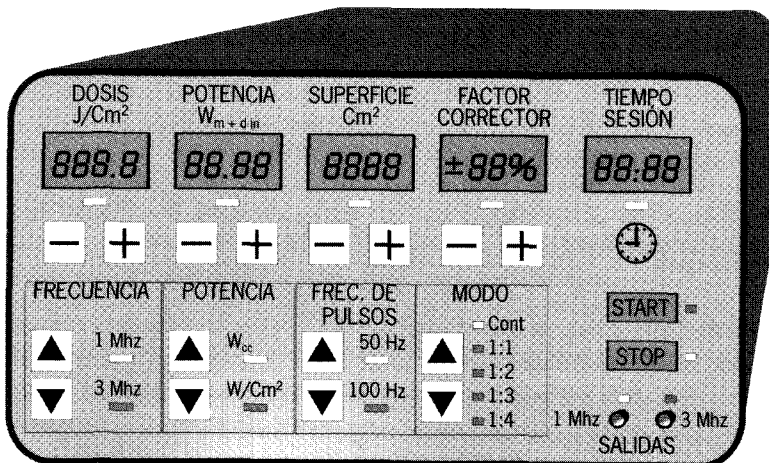


Figura XV.20.

- display que refleja el tiempo de sesión (sin teclas de ajuste), ya que el tiempo viene dado por la fórmula de la dosificación y los correspondientes parámetros introducidos. El tiempo lo calcula el equipo y no podemos retocarlo, pero sí se verá influido en el momento que cambiemos alguno de los parámetros que intervienen en la fórmula. Ante los fallos de contacto del cabezal o irradiaciones insuficientes, el tiempo se detendrá en tanto no se restablezca la aplicación y su adecuada conductividad;
- en la banda inferior del cuadro de mandos, vemos, de izquierda a derecha, un primer cuadro en que podemos ajustar la frecuencia de ultrasonidos (1 Mhz o 3 Mhz). Esta selección de frecuencia influye también en el tipo de cabezal conectado y en la activación de la salida correspondiente;
- el siguiente cuadro nos indica, y nos permite seleccionar, la representación de la potencia entre vatios salientes por todo el cabezal ( $W_{tc}$ ) o vatios que emite por cada centímetro cuadrado del cabezal ( $W/cm^2$ );
- continuamos con el cuadro que nos ajusta la frecuencia del pulsado (como mínimo las opciones de 50 Hz y de 100 Hz);
- seguimos con el cuadro que nos permite poner el modo de trabajo: continuo o pulsado (pulsado 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, etc.). El modo pulsado influirá en el display de potencia, dado que éste representa la potencia media o eficaz;
- por último, vemos dos teclas (START y STOP) y dos conectores de salida. Las teclas ponen en funcionamiento el equipo o lo paran a voluntad del terapeuta. Inmediatamente debajo de las teclas localizamos los dos conectores para el cabezal de 1 Mhz y el de 3 Mhz (los cabezales multifrecuencia únicamente requieren una salida). Estos conectores se activan y desactivan al cambiar la frecuencia de funcionamiento en el cuadro inferior izquierdo.

Están apareciendo en el mercado cabezales de ultrasonidos multifrecuencia, de manera que el tamaño ya no es óbice para aplicar una u otra frecuencia.

También están ofreciéndose cabezales con varias pastillas vibratorias integradas en su interior; estas pastillas se alternan en su trabajo. El objetivo de este tipo de cabezales es fijarlo sobre el paciente y así evitar la aplicación manual. De esta manera, tanto ésta como otras técnicas sufren las consecuencias del rendimiento económico a costa de la calidad y de fomentar la mala práctica terapéutica.

## Ondas de choque

Es una técnica de reciente aparición, basada en los sistemas de litotricia, que consiste en aplicar ondas sonoras (mejor ondas cinéticas) de alta velocidad en su ataque, es decir, generación explosiva de 1, 2, 3 ó 4 ondas por segundo (no ultrasónicas) aplicadas a un fluido líquido que los trasmite en una sola dirección mediante un cabezal que impide que se dispersen en todas las direcciones, pero que las focaliza hacia la salida, la cual termina en superficie elástica de la bolsa que contiene el fluido (Fig. XV. 21). Al poner en contacto la



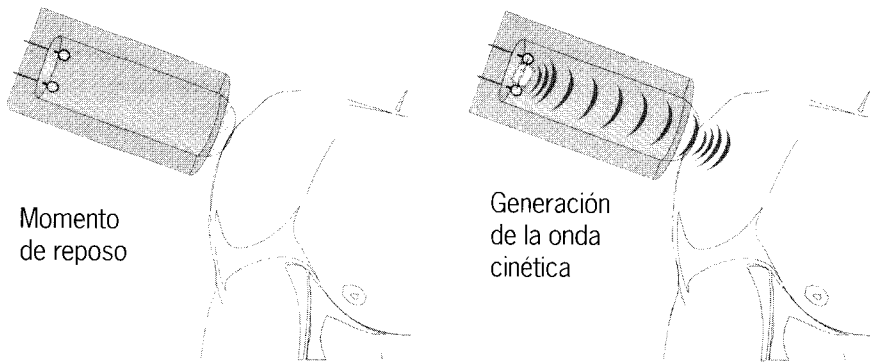


Figura XV.21.

bolsa elástica que contiene el fluido eléctrico con la piel (interponiendo el clásico gel para ultrasonidos) se transmitirá a los tejidos orgánicos dicha onda, ya que los tejidos blandos del organismo humano se comportan como un material viscoelástico.

La generación de la onda cinética dentro del fluido se consigue de dos formas fundamentales:

- 1) Mediante vibración piezoeléctrica de un mineral con esta propiedad y que la deformación de éste se transmita al fluido;
- 2) Por descarga de un arco voltaico dentro del fluido, provocando en él una onda expansiva que avanza hasta el otro extremo.

Los tejidos orgánicos serán sometidos a una onda deformante e intensa que avanza hasta ser amortiguada. La profundidad en la que mantiene su eficacia depende del comportamiento viscoso de los tejidos y de la potencia o presión aplicada por unidad de superficie. Los equipos destinados a rehabilitación y ortopedia reducen su eficacia a no más allá de 2-3 cm de profundidad.

Las ondas de choque llegan a provocar rotura de los tejidos que pierden la elasticidad típica de los fluidos, provocando daños celulares y tisulares que desencadenan respuestas inflamatorias de reparación. Se deja pasar un tiempo de espera entre sesión y sesión, con la esperanza de que la reacción neurovegetativa y reconstructiva solucione la patología cronicada.

Los efectos mayores se concentran en aquellos lugares donde el grado de viscosidad entre tejidos sufre cambios importantes: unión tendón hueso, tejido perióstico, calcificaciones en tejidos blandos, fibrosis tendinosas, fuertes contracturas musculares, adherencias entre tejidos, entesitis fibrosadas, etc. **Deberíamos poner especial cuidado con los tejidos más lábiles a las deformaciones, tales como los paquetes vasculonerviosos.**

*Tal vez, podríamos considerar que allí donde se indiquen los ultrasonidos pulsados (con su dosis adecuadamente ajustada) o una técnica de Cyriax, también sería adecuada la aplicación de ondas de choque.*

Asimismo, se especula con sus posibles aplicaciones en procesos de retardo en la osificación de fracturas, contando con las posibles propiedades piezoeléctricas del hueso al someterlo a deformaciones bruscas (ver «Piezoelectricidad del hueso» en el capítulo XIV).

Esta técnica soportó un importante auge publicitario que parece decaer de forma notable. Es muy posible, que si se aplicara con la suficiente depuración técnica e indicaciones bien diagnosticadas en la correspondiente patología, los resultados fueran mejores de lo habitual.

Si por ejemplo, se aplica en una epicondilitis, estaría indicada en aquellas que sufran de entesitis: en las epicondilitis causadas por roturas musculares, atrapamiento o desmielinización del radial en la zona, pinzamientos radiculares cervicales, hipertonías musculares de los epicondíleos, condropatías de la articulación humerorradial y humerocubital, fisuras óseas en la zona, subluxaciones de la sindésmosis cubitorradial proximal, de la membrana interósea, de la cubitorradial distal, etc. Salvo en la entesitis, en los demás casos estaría contraindicada. ¿Cuántas veces se habrá aplicado en las otras variantes?

## Indicaciones de los ultrasonidos

De acuerdo con lo expuesto y sus respuestas biológicas, podemos concretar las indicaciones en:

- procesos degenerativos o reumáticos;
- musculatura contracturada;
- tenosinovitis;
- procesos de fibrosis capsulares y ligamentosas;
- cicatrices fibrosadas y adheridas;
- derrames articulares y empastados y coagulados;
- derrames y hematomas derivados de roturas de tejidos blandos (no agudos);
- destrucción de geloides conteniendo catabolitos (celulitis);
- calcificaciones en tejidos blandos.

## ALGUNAS DOSIS RECOMENDADAS

Recordemos:

- procesos agudos: poca potencia y poca dosis;
- procesos crónicos: mucha potencia y mucha dosis;
- si el paciente manifiesta dolor durante la sesión, disminuir la potencia;
- si el paciente manifiesta molestias e inflamación al día siguiente, bajar la dosis.

Existen escuelas que propugnan potencias y dosis bajas, mientras que otras recomiendan potencias y dosis altas. Los fisioterapeutas con experiencia en los ultrasonidos saben que el US continuo, con potencias altas y con dosis altas, es la metodología que realmente proporciona buenos resultados terapéuticos (pero dominando la técnica).

**Fibrosis subdeltoidea.** En muchos procesos patológicos del hombro palpamos una importante tensión tisular que atrapa al deltoides desde su profundidad. Se trata de una fibrosis de la bursa subdeltoidea y subacromial.

El objetivo es liberar, ablandar y elasticar la zona con US (Tabla XV. 3).

TABLA XV. 3

Aplicación	móvil con masaje del cabezal
Dosis	40 J/cm <sup>2</sup>
Potencia	1,5 W/cm <sup>2</sup> en continuo
Cabezal	de 5 cm <sup>2</sup>
Frecuencia	1 Mhz
Tiempo de la sesión	el obtenido según parámetros en la fórmula de dosificación
Terapia combinada	vibraciones musculares con media frecuencia

**Espolón de la fascia plantar en el calcáneo.** Este proceso consiste en una entesitis en la inserción proximal de la fascia plantar que ya ha evolucionado con pico de loro o exóstosis ósea, causante de dolor intenso en la marcha.

El objetivo es destruir la calcificación (Tabla XV. 4).

TABLA XV. 4

Proceso subagudo	
Aplicación	fijo con suaves giros e inclinaciones (no presionar excesivamente el cabezal para evitar dolor)
Dosis	30 J/cm <sup>2</sup>
Potencia	0,3 W/cm <sup>2</sup> en continuo o 1 W/cm <sup>2</sup> en pulsado 1:4
Cabezal	de 5 cm <sup>2</sup>
Frecuencia	1 Mhz
Tiempo de la sesión	el obtenido según parámetros en la fórmula de dosificación
Terapia combinada	modulación cero en media frecuencia
Proceso crónico	
Aplicación	fijo con suaves giros e inclinaciones
Dosis	45 J/cm <sup>2</sup>
Potencia	0,5 W/cm <sup>2</sup> en continuo o 1 W/cm <sup>2</sup> en pulsado 1:1
Cabezal	de 5 cm <sup>2</sup>
Frecuencia	1 Mhz
Tiempo de la sesión	el obtenido según parámetros en la fórmula de dosificación
Terapia combinada	modulación cero en media frecuencia

**Derrame por esguince lateral externo de tobillo.** Estos esguinces provocan un importante derrame articular e intertejidos que debemos fluidificar y evacuar en un tiempo mínimo. Debemos esperar al menos 48 horas después de la lesión. Es un proceso agudo y doloroso (Tabla XV. 5).

TABLA XV. 5

Aplicación	móvil subacuático o con bolsa de agua (el roce del cabezal produce dolor)
Dosis	20 J/cm <sup>2</sup>
Potencia	0,5 W/cm <sup>2</sup> en continuo
Cabezal	de 5 cm <sup>2</sup>
Frecuencia	3 ó 1 Mhz según profundidad del derrame
Tiempo de la sesión	el obtenido según parámetros en la fórmula de dosificación
Terapia combinada	modulación cero en media frecuencia o bifásicas de alto voltaje a 150 Hz en baja frecuencia

**Rotura muscular cronicada de larga evolución sobre cuádriceps.** Es frecuente hallar roturas musculares con evolución de años que provocan una induración y atrapamiento de tipo cicatricial en la zona.

El objetivo es liberar el proceso fibrótico (Tabla XV. 6).

TABLA XV. 6

Aplicación	móvil y rápido con fuerte masaje del cabezal
Dosis	45 J/cm <sup>2</sup>
Potencia	2 W/cm <sup>2</sup> en continuo o 3 W/cm <sup>2</sup> en pulsado 1:1 (si la superficie es pequeña, probablemente habrá que disminuir la potencia)
Cabezal	de 5 cm <sup>2</sup>
Frecuencia	1 Mhz
Tiempo de la sesión	el obtenido según parámetros en la fórmula de dosificación
Terapia combinada	vibraciones musculares con media frecuencia

**Celulitis o fibrosis en los tendones de la pata de ganso.** Si palpamos en la cara interna de la rodilla los tendones que terminan en la pata de ganso superficial, detectaremos un proceso fibrótico, doloroso, empastado, poco deformable y que atrapa varios tendones.

El objetivo es liberar de tensión, elastificar la zona y evacuar las toxinas y catabolitos contenidos en el proceso fibrótico. Palpar antes de la sesión y después para comprobar resultados (Tabla XV. 7).

TABLA XV. 7

Aplicación	móvil con importante presión del cabezal (masaje del cabezal)
Dosis	40 J/cm <sup>2</sup>
Potencia	1 W/cm <sup>2</sup> en continuo o 2 W/cm <sup>2</sup> en pulsado 1:1
Cabezal	de 5 cm <sup>2</sup>
Frecuencia	1 Mhz
Tiempo de la sesión	el obtenido según parámetros en la fórmula de dosificación
Terapia combinada	corriente de fuerte componente sensitivo y galvánico para evacuar toxinas (Trabert)

**Contractura muscular en el cuadrado lumbar.** En las contracturas musculares cronificadas, la técnica de US aporta buenos resultados para relajar y liberar las toxinas intramusculares no evacuadas por el hipertono mantenido. Asimismo, la fibrosis tiende a proliferar en las masas musculares contracturadas de larga evolución.

El objetivo es relajar, limpiar catabolitos y elastificar la fibrosis (Tabla XV. 8).

TABLA XV. 8

Aplicación	móvil con importante presión del cabezal (masaje del cabezal)
Dosis	40 J/cm <sup>2</sup>
Potencia	1,5 W/cm <sup>2</sup> en continuo o 2 W/cm <sup>2</sup> en pulsado 1:1
Cabezal	de 5 cm <sup>2</sup>
Frecuencia	1 Mhz
Tiempo de la sesión	el obtenido según parámetros en la fórmula de dosificación
Terapia combinada	vibraciones musculares con media frecuencia

**Epicondilitis.** En las epicondilitis, nos podemos encontrar, entre otras causas (previa exploración), contracturas musculares de los epicondíleos, desgarros musculares de bandas musculares, entesitis en las inserciones de los epicondíleos y fibrosis en bandas que suelen atrapar al radial. Debemos cuidar que los ultrasonidos no lesionen o saturen al radial.

Vamos a concentrarnos aquí en dos variantes diferentes: proceso de entesitis y contracturas musculares (Tabla XV. 9).

**Puntos gatillo del trapecio.** Previamente y de forma manual, debemos explorar y localizar los puntos gatillo a tratar para situar con precisión el cabezal. Es más importante la corriente de la terapia combinada que la aplicación de ultrasonidos. La potencia y dosis de ultrasonidos deben ser bajas (suficientes como para que funcione sin errores el aparato). *Cuidado con el ganglio estrellado situado a la altura de la 6C y los senos carotídeos si tratamos los escalenos.*

TABLA XV. 9

Entesitis epicondílea	
Aplicación	cabezal fijo con suaves giros e inclinaciones
Dosis	25 a 35 J/cm <sup>2</sup> depende de su agudeza o cronicidad
Potencia	0,5 W/cm <sup>2</sup> en continuo o 1 W/cm <sup>2</sup> en pulsado 1:1
Cabezal	de 5 cm <sup>2</sup>
Frecuencia	3 Mhz
Tiempo de la sesión	el obtenido según parámetros en la fórmula de dosificación
Terapia combinada	corriente de Trabert con importante efecto sensitivo sin llegar a provocar dolor
Contractura de epicondíleos	
Aplicación	móvil con importante presión del cabezal (masaje del cabezal)
Dosis	40 J/cm <sup>2</sup>
Potencia	1 W/cm <sup>2</sup> en continuo o 2 W/cm <sup>2</sup> en pulsado 1:1
Cabezal	de 5 cm <sup>2</sup>
Frecuencia	1 Mhz
Tiempo de la sesión	el obtenido según parámetros en la fórmula de dosificación
Terapia combinada	vibraciones musculares con media frecuencia o con alto voltaje bifásico

El cabezal se mantiene fijo, sin movimiento, aplicando la corriente sin provocar la respuesta motora (condición algo difícil de conseguir). ¿Contribuirá la presión mantenida del cabezal a eliminar el hipertono y el punto gatillo...?

Pretendemos relajar y eliminar dolores y tensiones musculares en el paciente. Debemos comprobar resultados al terminar (Tabla XV. 10).

TABLA XV. 10

Aplicación	cabezal fijo <i>sin</i> giros ni inclinaciones y presión moderada del cabezal
Dosis	5 a 10 J/cm <sup>2</sup>
Potencia	0,2 W/cm <sup>2</sup> en pulsado 1:4
Cabezal	de 1 cm <sup>2</sup> , de 2,5 cm <sup>2</sup> o en su defecto de 5 cm <sup>2</sup>
Frecuencia	3 Mhz
Tiempo de la sesión	el necesario hasta detectar la disminución de tensión muscular bajo el cabezal (no aplicamos la fórmula de dosificación)
Terapia combinada	corriente de alto voltaje, bifásica, frecuencia fija entre 80 y 150 Hz (buscamos estímulo sensitivo). Operar con la intensidad hasta el inicio de la respuesta motora

## Precauciones

- fracturas recientes;
- osteosíntesis o endoprótesis;
- fisuras óseas cercanas a la zona;
- traumatismos en proceso agudo;
- evitar dosis altas sobre sistema nervioso;
- precaución cuando debajo se hallen cavidades con aire, como pulmones o intestinos;
- en fetos ni mujeres embarazadas (pues superamos la potencia alcanzada por la ecografía);
- cuidado con las proximidades de los centros nerviosos del neurovegetativo (simpáticos o parasimpáticos). Con alguna frecuencia se satura al ganglio estrellado por mala práctica.

## Contraindicaciones

No aplicar en:

- fracturas recientes con callos incipientes;
- heridas recientes;
- los ojos y canales del oído interno;
- en tumores cancerígenos;
- en focos de tuberculosis;
- en procesos infecciosos agudos;
- sobre cicatrices queloides;
- sobre marcapasos;
- en zonas de tromboflebitis y proximidades;
- sobre corazón en cardiopatías.



## CAPÍTULO XVI

# Infrarrojos

Cuando aplicamos infrarrojos al organismo, le depositamos energía electromagnética en la banda del **espectro anterior a la luz visible**.

Es conveniente recordar el reparto del espectro electromagnético que corresponde a la banda de la luz, tomando como referencia la luz visible (Fig. XVI. 1).

El espectro de infrarrojos (*que abarca desde 770 nm hasta 10.000 nm*) se subdivide en tres bandas:

- IR de tipo A, cercanos a la luz visible;
- IR de tipo B, más lejanos e
- IR de tipo C, los más lejanos de la luz visible y en contacto con la banda de las microondas. En electroterapia, usamos los de tipo A, centrada su eficacia máxima alrededor de los 1.000 nm.

Habitualmente, son aplicados mediante lámparas específicas diseñadas para tal fin, de forma irradiada. Cuando el paciente recibe esta energía, percibe sensación de calor, lo mismo que sentiría bajo el sol o junto a una estufa (Fig. XVI. 2).

Recordemos que en fisioterapia aplicamos calor de diferentes formas:

- calor por conducción (contacto con la fuente);
- calor por convección (transportado por un fluido, normalmente aire);



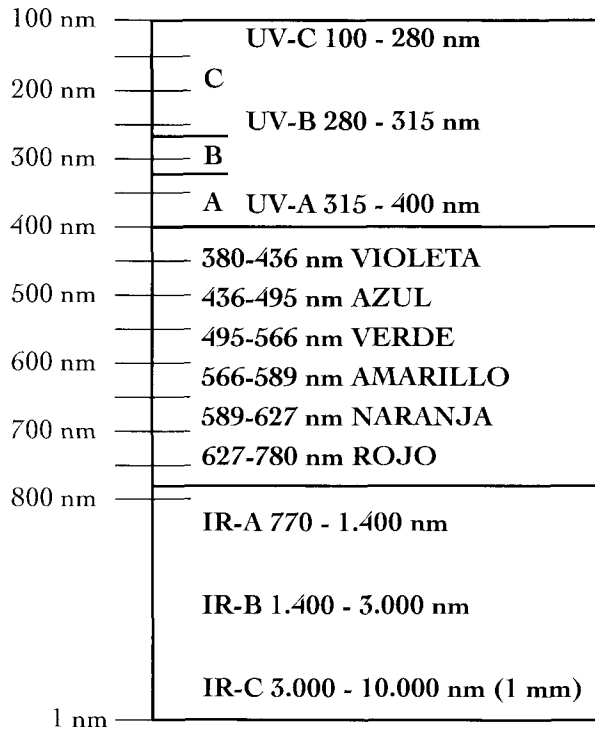


Figura XVI. 1.

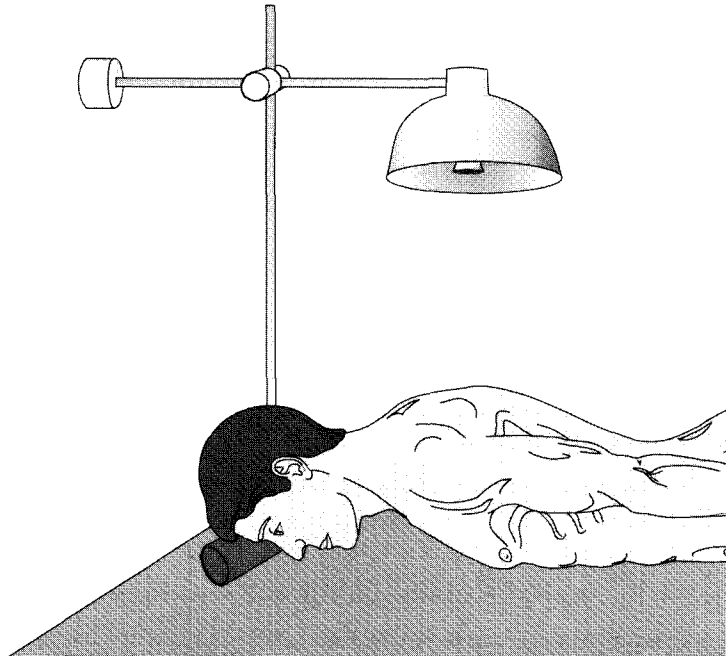


Figura XVI.2.

- calor por irradiación (ondas electromagnéticas emitidas desde un foco hasta impactar en el paciente);
- calor por transformación (se aplica una energía para que se transforme en térmica, como la onda corta o microondas).

Luego queda explícito que será la modalidad por irradiación de infrarrojos, de la que estamos hablando, aunque las otras también lo consigan.

La longitud de onda media de las lámparas comerciales utilizadas al respecto se establece con el máximo de irradiación en los 1.000 nm.

La potencia de irradiación no debe confundirse con la potencia de energía consumida, pues una lámpara, como toda máquina, siempre irradiará menos de lo consumido. Además, a nosotros nos interesa la energía recibida en una determinada zona corporal, circunstancia que depende fundamentalmente de la construcción y forma de la lámpara. Por ejemplo: las muy habituales lámparas de la casa OSRAM, SICCATHERM de 250 W y THERATHERM de 150 W en consumo, la primera genera menos potencia por unidad de superficie que la variante de 150 W en consumo. O sus semejantes de la casa PHILIPS INFRAPHIL R 95 E e INFRAPHIL PAR 38 E. Las primeras en orden (250 W) dispersan mucho la energía, en tanto que las segundas (debido a una lente de Fresnel) consiguen concentrar con más eficacia la energía bajo la lámpara, circunstancia que a nosotros nos interesa (Fig. XVI. 3).

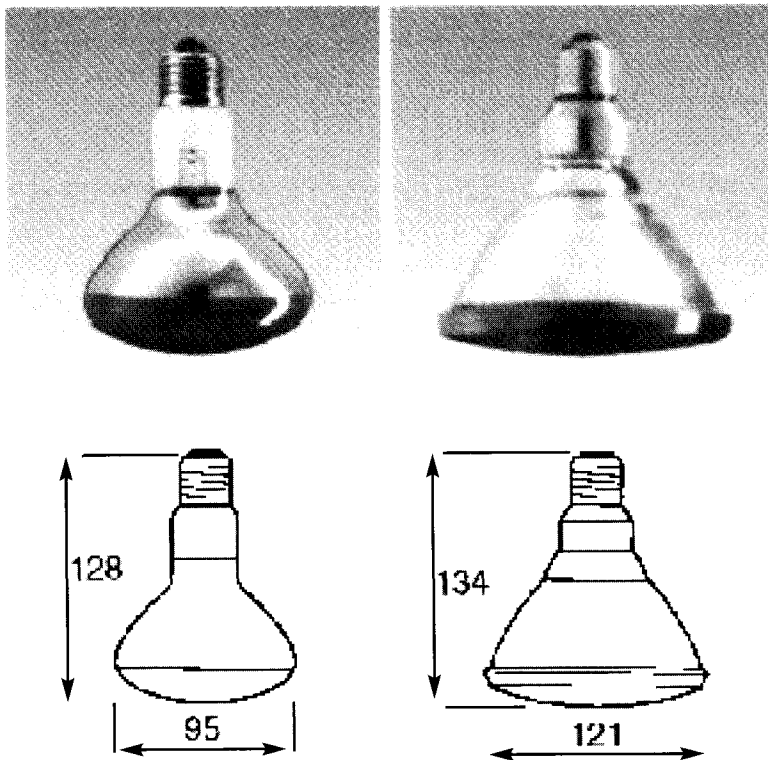


Figura XVI.5.

La penetración en el organismo depende:

- de la densidad de la materia;
- de la longitud de onda y
- de la potencia aplicada.

La aplicación de esta energía siempre se ha considerado como termoterapia superficial, pues habitualmente se especula con 1 a 2,5 cm de penetración, pero no deja de ser especulación. Tratemos de entenderlo con el siguiente ejemplo.

Disponemos de una diana de corcho (el material de la diana representa la densidad de la materia) y tres elementos para lanzar contra la diana: una jabalina, un dardo y una aguja de coser (cada objeto representa distintas longitudes de onda de acuerdo con el grosor de su punta).

Desde unos 10 metros se lanzan los tres objetos con la misma fuerza, observando que, tal vez, la aguja de coser caiga al suelo a mitad de camino, el dardo llega y se clava mientras que la jabalina puede destrozar la diana (simulando en este caso la potencia con la que llega la energía a la materia). La potencia de la jabalina es tal que penetrará mucho aunque su longitud de onda sea excesiva para la densidad de la materia considerada, sin embargo, la aguja que podría entrar con facilidad no consigue llegar a tocar la diana (no posee suficiente potencia).

Retomemos el experimento con la siguiente modificación: aplicamos la punta de cada elemento contra la superficie de la diana y empujamos a los tres con la misma presión (supongamos dos kilos). La aguja entrará sin ninguna dificultad, seguramente, el dardo penetrará lo suficiente como para no caerse y la jabalina puede haber marcado su punta sobre el corcho, pero no ha penetrado.

Ahora vemos que la longitud de onda sí fue un parámetro fundamental para alcanzar mayor penetración, **pero con la misma potencia**. Luego podemos concluir que:

- a la misma potencia aplicada, penetrará más la menor longitud de onda;
- si la densidad de la materia es baja, todas las longitudes de onda tenderán a penetrar más;
- si la potencia es elevada, se forzarán la penetración aunque las condiciones no sean totalmente favorables.

Podremos afirmar que la luz visible penetra más que los infrarrojos y que los ultravioletas más que la luz visible y que los infrarrojos, **pero siempre que la potencia aplicada sea semejante**. Es fácil conseguir potencia en los infrarrojos y poca con los ultravioletas y leer que los IR penetran más, o al contrario, considerar que los UVA penetran más.

## Dosis

Los fisioterapeutas todavía mantenemos hábitos erróneos cuando aplicamos esta técnica, por hacerlo de forma empírica y poco científica o falta de la debida profesionalidad. Pero, sin embargo, la seguimos aplicando por sus excelentes resultados obtenidos y el poco coste, siendo considerada como una técnica muy interesante. Analicemos el tema.

Estamos habituados a colocar al paciente bajo la lámpara, a una distancia suficiente como para que éste no sienta «quemazón» y durante «un rato», tal vez 10 minutos, 15 para otros, o haciendo tiempo mientras se termina otra labor, etc. *Pero no nos planteamos si la intensidad recibida por los tejidos es la suficiente para conseguir los resultados esperados o ha sido excesiva.* Es frecuente considerar que debemos situar al paciente entre 50 y 75 cm de la lámpara (aunque depende de la forma y potencia de ésta) y mantenerlo durante unos 15 minutos de media. Así, estamos hablando de la energía aplicada, sin considerar la recibida, parámetro realmente importante (Fig. XVI. 4).

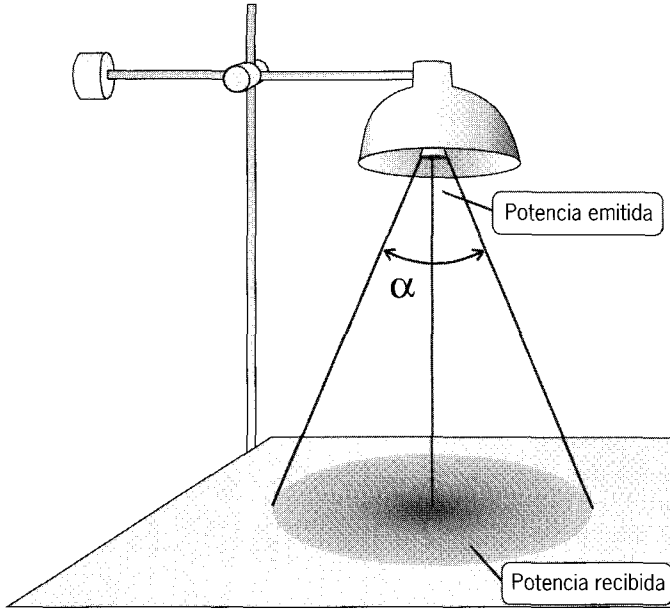


Figura XVI.4.

Hasta que no seamos capaces de establecer la cantidad de energía recibida o preestablecer y prescribir de antemano la deseada, no podremos hablar de una dosificación resuelta.

Dado que sobre la dosis (o energía recibida) no hay nada dicho de forma eficaz, podemos partir de la experiencia habitual y más extendida a fin de establecer una dosis media. Para ello necesitamos saber previamente:

- la potencia recibida en la superficie corporal,
- una superficie corporal considerada a tratar y
- el tiempo que se aplica.

## 1. POTENCIA RECIBIDA EN LA SUPERFICIE CORPORAL

Para averiguar la potencia de energía que recibe la superficie corporal, disponemos de dos métodos:

- Uno, que parte de la información aportada por el fabricante en cuanto a la potencia emitida en la superficie de la lámpara, la divergencia del haz, la distancia entre cuerpo y lámpara, cálculo teórico de la potencia a distintas distancias según la divergencia del haz, el envejecimiento de la lámpara, etc. Un sistema muy teórico y en el que no dispondremos de los datos requeridos.
- El otro, apoyado en la medida directa de la potencia recibida mediante su correspondiente vatímetro o sonda lectora de la potencia que realmente llega a cada punto de la zona tratada. Éste será el sistema más eficaz (previa adquisición del vatímetro), medidor que refleja los milivatios recibidos en cada  $\text{cm}^2$  de la piel ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ ).

Después de realizarse gran diversidad de medidas en aplicaciones reales y por distintos profesionales (con el correspondiente vatímetro), los valores obtenidos oscilan entre 50 y  $150 \text{ mW}/\text{cm}^2$ , aunque los más frecuentes abundan entre 70 y  $80 \text{ mW}/\text{cm}^2$  (Fig. XVI. 5). Reservemos estos datos para más adelante.

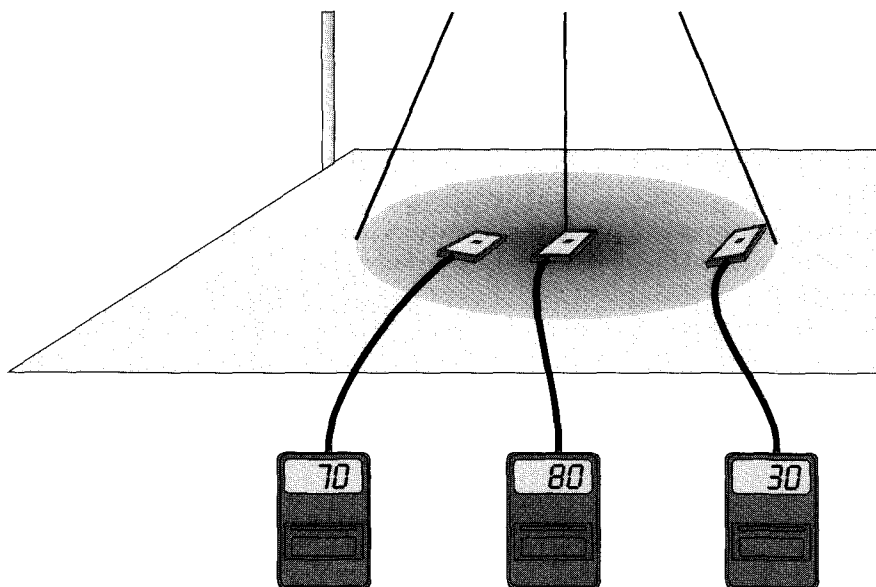


Figura XVI.5.

***El parámetro de potencia no es variable durante la sesión una vez establecida la aplicación o tratamiento.***

## 2. SUPERFICIE CORPORAL CONSIDERADA COMO TRATADA

Dependiendo del sistema de lámpara utilizada, la superficie cubierta es mayor o menor, pero siempre es una zona bastante amplia. Dependiendo de que la lámpara posea un sistema de lentes de Fresnel o no, el haz de radiación será más o menos cónico, de forma que cuanto menor sea la base, menor resultará la divergencia del haz y la concentración o densidad de energía será más alta (Fig. XVI. 2).

Esto nos conduce a que la zona tratada no recibe por igual la misma energía, ya que en línea con el eje de la lámpara se leerán los valores mayores (Figs. XVI. 5 y 8), pero, al alejarnos de dicho eje, los valores van disminuyendo progresivamente de acuerdo con la fórmula siguiente (Fig. XVI. 6).

$$W \text{ recibida} = \frac{W \text{ emitida}}{D \cdot (\text{Tangente de } \alpha)^2}$$

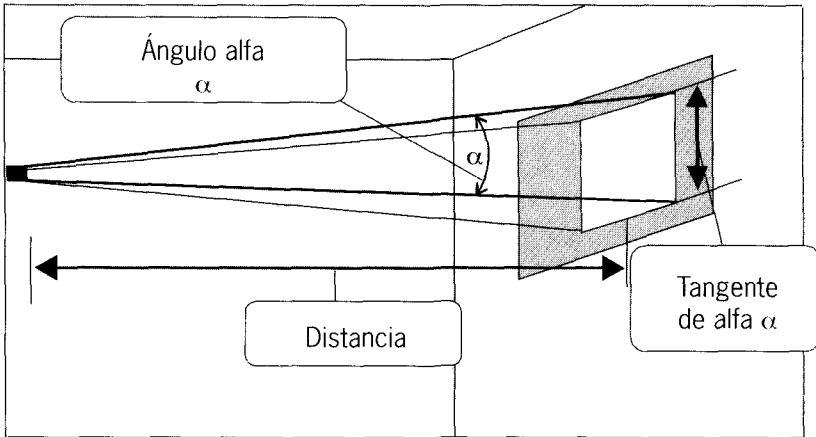


Figura XVI.6.

El viejo sistema por el que la potencia disminuye de forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, sólo se da cuando la divergencia entre rayos es de 45° (Fig. XVI. 7).

Entonces, consideraremos como buena una superficie en la que los valores se mantengan muy semejantes, despreciando el resto de periferia, cubriendo la superficie corporal o mediante equipos que dispongan de sistemas de diafragma, en los que se regule la superficie tratada.

Si acercamos mucho la lámpara, este efecto se acentúa, pero, si la alejamos, se reduce. Por otra parte, si la distanciamos, se pierde el efecto sensitivo térmico y, si la acercamos, podemos rozar la sensación de calor quemante. **Esta circunstancia será una condicionante**

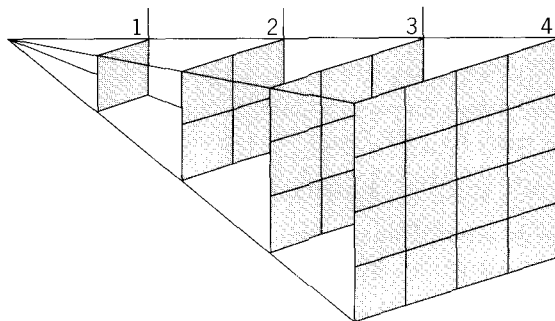


Figura XVI.7.

*básica al practicar los tratamientos, es decir, que el paciente tenga una sensación térmica agradable y relajante, factor que se regula con la distancia.* Lógicamente, esto influirá en la potencia leída, pero se compensará con el tiempo para mantener la misma dosis (Fig. XVI. 8).

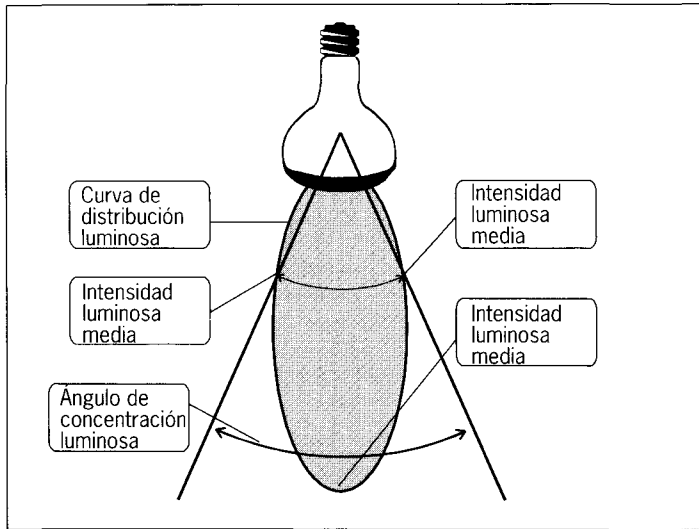


Figura XVI.8.

Después de haber realizado multitud de medidas con el vatímetro para tratar de establecer una zona o superficie en la que los valores no sufran diferencias dignas de mención, podemos considerar como superficies de mayor eficacia círculos cuyo radio oscila entre 15 y 20 cm. La superficie depende también de la distancia a la lámpara.

La superficie es un parámetro no variable o no modificable durante la sesión, aunque para cálculos no será utilizada.

### 3. TIEMPO QUE SE APLICA

*El único parámetro que puede variarse durante la sesión, e influir directamente en que cada  $\text{cm}^2$  de piel reciba más o menos energía durante la sesión, es el tiempo.*

*Si partimos de la experiencia habitual, podremos considerar que la mayoría de las aplicaciones duran 15 minutos (900 sg) y si estamos aplicando una media de 70 a 80  $\text{mW}/\text{cm}^2$  durante 900 sg, dicha superficie ha recibido entre 63.000 y 72.000 milijulios en cada  $\text{cm}^2$  de piel ( $\text{mJ}/\text{cm}^2$ ), es decir, entre 63 y 72  $\text{J}/\text{cm}^2$ .*

Potencia en cada  $\text{cm}^2$  x el tiempo en segundos = trabajo en cada  $\text{cm}^2$

Con estos últimos valores, considerados como medios, hemos encontrado la **dosis real** que estamos aplicando cotidianamente. Ahora cabe hacerse la pregunta:

¿Es suficiente esta dosis? ¿Es excesiva? ¿Tal vez escasa?

La experiencia nos dice que durante muchos años así la hemos utilizado y los resultados son positivos en general y en procesos crónicos. Pero ¿qué ocurre con los agudos?

Si estas dosis han funcionado durante años, podemos darlas como buenas y partir de este punto como hipótesis de trabajo para ir encontrando las distintas dosificaciones en cada circunstancia, caso y patología.

Si los fisioterapeutas pretendemos hacer tratamientos con una adecuada referencia, homogeneidad en la sistemática de trabajo entre profesionales, investigación, liberarse del empirismo o del «ojo de buen cubero», necesitaremos establecer una metodología basada, fundamentalmente, en un buen sistema de dosificación. No sirve de nada la estadística de multitud de casos si la base lógica y fundamental no es considerada.

### Diferencias entre los IR estándar y los IR láser

Los sistemas convencionales de generar IR se basan en lámparas o barras radiante que (Fig. XVI. 9):

- emiten una amplia banda del espectro;
- su potencia de emisión es considerable;
- no es fácil medir su potencia de emisión ni de recepción (salvo que se disponga del sistema medidor);
- la potencia generada se dispersa por una amplia zona (aunque depende de la focalización de la lámpara);

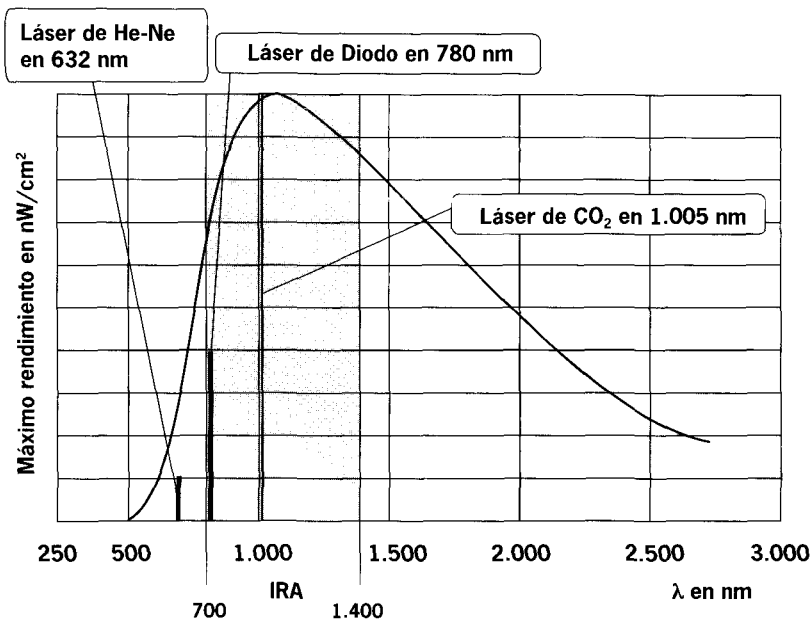


Figura XVI.9.



- se irradia constante y simultáneamente toda la zona tratada, mientras que con el láser debemos esperar al paso del rayo cada cierto tiempo;
- la sensación que percibe el paciente es de calor, que puede variar desde calor quemante a suave «calorcillo» (dependiendo de la distancia entre foco y piel);
- en caso de que distintas longitudes de onda generen distintos efectos fisiológicos, los IR estándar lo consiguen;
- el sistema es simple y muy barato comparado con el láser.

El sistema *láser* no es más que una máquina en la que:

- genera la misma luz que los sistemas convencionales;
- se emite en una única longitud de onda (no una banda);
- permite medir su potencia con precisión (si el haz es paralelo, no perderá potencia con la distancia);
- divergencia se da reducida al mínimo posible;
- la potencia generada se puede concentrar en una pequeña superficie;
- el único sistema de láser que puede alcanzar la potencia de los sistemas convencionales es el de CO<sub>2</sub>, el cual no se puede aplicar en un sólo punto, ya que quemaría. *Siempre se dispersará en un barrido* (Fig. XVI. 10);
- en el punto por donde pase el haz de luz cuando barre una zona establecida, durante el instante de paso, penetrará más que los sistemas estándar con la única condición de que supere su potencia por cm<sup>2</sup>; en caso de que diferentes longitudes de onda generen distintos efectos fisiológicos, los rayos infrarrojos del láser los pierden todos excepto los correspondientes a la longitud de onda aplicada;

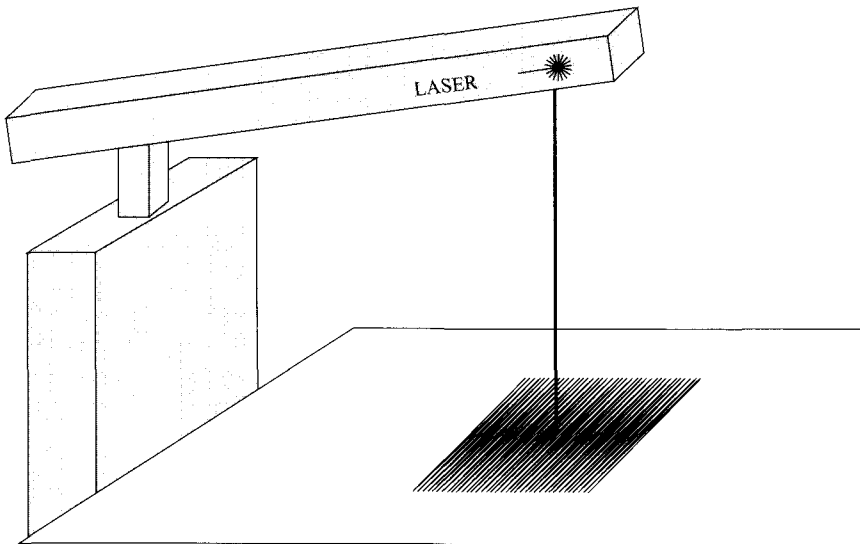


Figura XVI.10.

- este sistema es bastante complejo y muy caro comparado con el sistema convencional.

La primera cuestión a plantearse sería:

¿Por qué limitamos las dosis en el láser a un máximo de 20 ó 25 J/cm<sup>2</sup> (normalmente menos, según escuelas) si con los IR convencionales, en bastantes ocasiones, superamos los 100 J/cm<sup>2</sup>? ¿Es perjudicial para el organismo superar los 100 J/cm<sup>2</sup>? Preguntas que, por el momento, quedan a la interpretación de cada lector.

Comparando ambos métodos, no tiene nada que envidiar el simple y tradicional al láser, pero láser de CO<sub>2</sub>, ya que los otros sistemas de láser no alcanzan la potencia de los IR clásicos. Supongamos un láser de CO<sub>2</sub> trabajando a 5 W reales sobre una superficie de barrido de 10 · 10 cm (100 cm<sup>2</sup>). En cada cm<sup>2</sup> está aplicando 0,05 W (50 mW/cm<sup>2</sup>); valor que se encuentra por debajo de los habitualmente leídos con el vatímetro bajo las lámpara de infrarrojos. Eso sí: el láser ofrece la ventaja de mayor penetración en el instante en que pase por un punto (Fig. XVI. 10), circunstancia que no se volverá a repetir hasta que no vuelva a pasar después de haber completado el barrido. La lámpara convencional de infrarrojos está aplicando, en todo momento, su energía sin esperar la conclusión de barridos.

Asimismo, merece reiteración la comparación entre ambos sistemas en cuanto a la banda de emisión y sus efectos fisiológicos (Fig. XVI. 9). Suponiendo que cada tramo de la banda tuviera distintos efectos fisiológicos, el láser, únicamente, cubriría los propios de su longitud de onda; sin embargo, los IR clásicos aportarán diversidad de efectos simultáneamente, pues emiten un amplio espectro de longitudes de onda (aunque unas con mayor potencia que otras). No obstante, esta circunstancia no debe ser importante, dado que a la hora de seleccionar los aparatos de láser no se tiene en cuenta la longitud de onda en que trabaja. Pero sería interesante investigar esta circunstancia, pues la aplicación de láser en cirugía nos lleva a pensar que pueden existir indicios sobre esta cuestión, pues si para cada tejido a volatilizar en cirugía se requiere una mejor longitud de onda, es posible que en distintas patologías resulten más adecuadas unas longitudes de onda que otras.

En el sistema tradicional, suelen emplearse dos tecnologías distintas:

- lámpara de incandescencia y
- barras radiantes.

Las curvas de irradiación de ambas no coinciden exactamente, pero nada se dice sobre la mayor o menor indicación de una sobre la otra, aunque está más extendida la lámpara de incandescencia.

## Diseño de un equipo para aplicación de IRA

Un equipo aplicador que cumpla con las características mínimas como para *dosificar adecuadamente* debe constar de (Fig. XVI. 11):

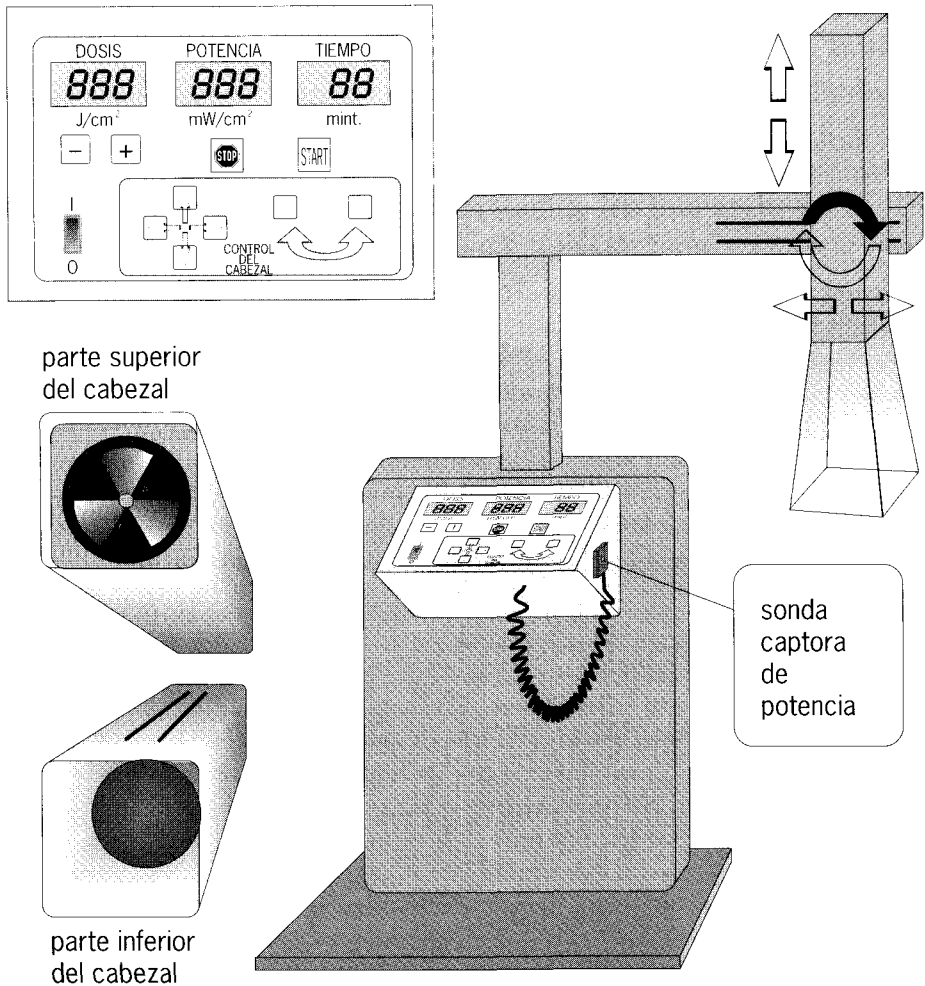


Figura XVI.11.

- su sistema emisor mediante una lámpara de incandescencia para IRA (infrarrojos del tipo A, preferibles las de 150 W con lente de Fresnel);
- vatímetro o sonda para capturar la potencia recibida sobre la superficie corporal;
- sistema electrónico que permita introducir por teclado el valor de la dosis y calcule, automáticamente, el tiempo que durará la sesión, de acuerdo a la dosis y a la potencia;
- reloj que controle la duración de la sesión y desconecte la lámpara en el momento de finalizar el tratamiento y
- movilidad de los brazos para permitir la orientación del haz y su distancia al organismo.

Con un equipo basado en esta metodología de tratamientos, podemos desarrollar las investigaciones y estadísticas oportunas para encontrar las distintas DOSIS y mejores sistemas de trabajo.

## PROTOCOLO PARA APLICAR IRA

Ante todo:

- Situar al paciente en una posición cómoda y que contribuya a su relajación emocional y muscular.
- Desnudar la piel y limpiarla de sustancias que puedan impedir la absorción de los rayos (cubrir zonas no deseadas).
- Decidir la dosis que pretendemos aplicar.
- Decidir la zona tratada y su campo, para alejar o acercar el foco sin olvidar que la proximidad genera sensación de calor excesivo y la lejanía poco estímulo térmico. Además, esta circunstancia influirá directamente en el tiempo de la sesión.
- Introducir el valor de los  $J/cm^2$  que pretendemos aplicar al paciente (*dosis*).
- Seguidamente, situamos y proyectamos sobre el paciente el haz de IR para medirlo con la sonda.
- Preguntar al paciente sobre la percepción térmica sentida, para corregirla si no coincide con nuestro objetivo o le molesta.
- El equipo captura el valor en vatios y automáticamente calcula el tiempo de la sesión.
- Una vez presentado en los dígitos, se presiona la tecla START y esperamos el transcurso del tiempo y su desconexión al finalizar éste.
- Durante la sesión, están atentos a su evolución.
- Al finalizar el tratamiento, observar los resultados, manifestaciones del paciente y evolución, para mantener los parámetros o corregirlos.
- Finalizar el tratamiento con el número de sesiones suficientes para conseguir los objetivos propuestos.

## Efectos fisiológicos

Dado que el punto de vitalidad normal en el ser humano es muy crítico ( $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), estamos sometidos a luchar contra las bajadas importantes de la temperatura ambiente, así como contra las subidas que no nos permitan la adecuada liberación del calor generado por el metabolismo.

En determinados procesos patológicos (degenerativos y crónicos), donde el metabolismo de una zona se reduce, es conveniente aportar energía para reactivarlo localmente. Pero

otros que cursan con reacción inflamatoria (agudos) acarrear el aumento del metabolismo y de su temperatura local, por lo que no requerirán de aporte energético, sino eliminación del exceso térmico mediante la aplicación de frío.

Esta circunstancia es la primera en descartar a la hora de decidir la indicación de los IR. Ello se resuelve mediante la adecuada exploración y conclusión sobre si la patología requiere aporte o disminución energética. (Ver epígrafe «Curvas características del comportamiento biológico» al final del capítulo VI).

Una forma simple de averiguar si el proceso se halla muy inflamado consiste en situar la mano abierta con la palma hacia la zona explorada, pero a 1 ó 2 cm y tratar de sentir la irradiación de calor corporal; desplazando la mano, podemos localizar el lugar de mayor afectación. En muchas ocasiones, persiste una ligera inflamación que lucha por resolver la patología, pero que convive con fibrosis o edemas que estrangulan el aporte de nutrientes e iones, que impiden la actividad metabólica suficiente. Luego, a pesar de cierta inflamación, la administración de calor está indicada.

### VELOCIDAD DEL APORTE ENERGÉTICO

En casos en los que consideremos que los IR están indicados, a pesar de cierto nivel inflamatorio (subagudos), es conveniente que el aporte energético no sea muy acelerado, circunstancia que se resuelve con la disminución en la potencia, separando la lámpara y midiendo con el vatímetro que se nos quede entre 20 y 30 mW/cm<sup>2</sup>. Ello no quita para que la dosis se mantenga en valores altos, teniendo que aumentar el tiempo de la sesión. Si aplicamos 100 Julios en 2 sg, seguro que causamos una quemadura, pero si los mismos 100 Julios son depositados lentamente durante media hora, no se generará quemadura alguna.

Si pretendemos acelerar la administración de energía, aumentaremos la potencia recibida, con cuidado de que los sistemas termorreguladores del organismo sean capaces de absorberla; de no considerar esta circunstancia tenderíamos rápidamente a la quemadura.

### RESPUESTA FISIOLÓGICA

Cuando el organismo recibe calor, gran parte de él lo capta y lo absorbe aumentando la temperatura en los tejidos superficiales y provocando las respuestas de termorregulación de la zona, mediante vasodilatación local en superficie primeramente, seguida de vasodilatación profunda y sudoración.

Si los dos sistemas anteriores no controlan adecuadamente la regularización de la temperatura en los 37 °C, el sistema termorregulador se ve saturado con importante aumento de temperatura, actuando de forma paradójica.

Este aumento de temperatura local genera activación del metabolismo, aceleración de los intercambios iónicos y favorece todos los procesos celulares. Asimismo, la vasodilatación y aumento del riego sanguíneo y linfático contribuyen al lavado de residuos acumulados, procedentes del metabolismo y aporte de nuevas sustancias nutrientes y reequilibradoras de los anteriores desequilibrios iónicos, debidos al proceso patológico. *Esto favorecerá, en gran medida, la regeneración tisular y el alivio de los dolores de origen bioquímicos.*

Además, la percepción sensitiva de calor agradable desencadena, en el sistema neurovegetativo del paciente, la activación del parasimpático que le conduce a sopor, relajación, secreción de neurotransmisores inhibidores de los diversos dolores y relajación muscular.

El exceso de potencia recibida provoca que aparezcan, rápidamente, los mecanismos termorreguladores de sudoración (por incapacidad de la vasodilatación), provocándose percepción de calor quemante y molesto, desencadenándose la activación del simpático y actitud de defensa y, quizás, aumento de sus molestias.

Asimismo, si mantenemos excesivo tiempo la aplicación de calor, conduciremos al organismo a un aumento general de su temperatura, así como a una vasodilatación excesiva y descontrolada con extravasación de elementos formes y la aparición de pequeñas petequias: son las viejas «cabritillas» de las costureras ante los braseros; ¿cuántos  $J/cm^2$  generarán las «cabritillas»?

Estas circunstancias deben evitarse, tanto el aumento térmico generalizado como la sudoración o la vasodilatación paradójica, circunstancias que contribuyen a la necesidad de diseñar el adecuado sistema de dosificación.

## Indicaciones

- Procesos artrósicos en articulaciones no profundas.
- Contracturas musculares.
- Dolores de origen bioquímico.
- Úlceras por decúbito.
- Déficit circulatorios superficiales.
- Déficit metabólicos locales y superficiales.
- Tendinitis, tenosinovitis, capsulitis y esguinces en procesos subagudos y crónicos, aunque cursen con moderado edema.
- Eritema permio (sabañones).
- Alteraciones dermatológicas debidas a déficit circulatorio.
- En procesos donde no pueda aplicarse la termoterapia profunda.
- En derrames articulares persistentes y densos.
- Previa valoración, puede estar indicada la aplicación en accesos purulentos próximos a evacuar a través de la piel.

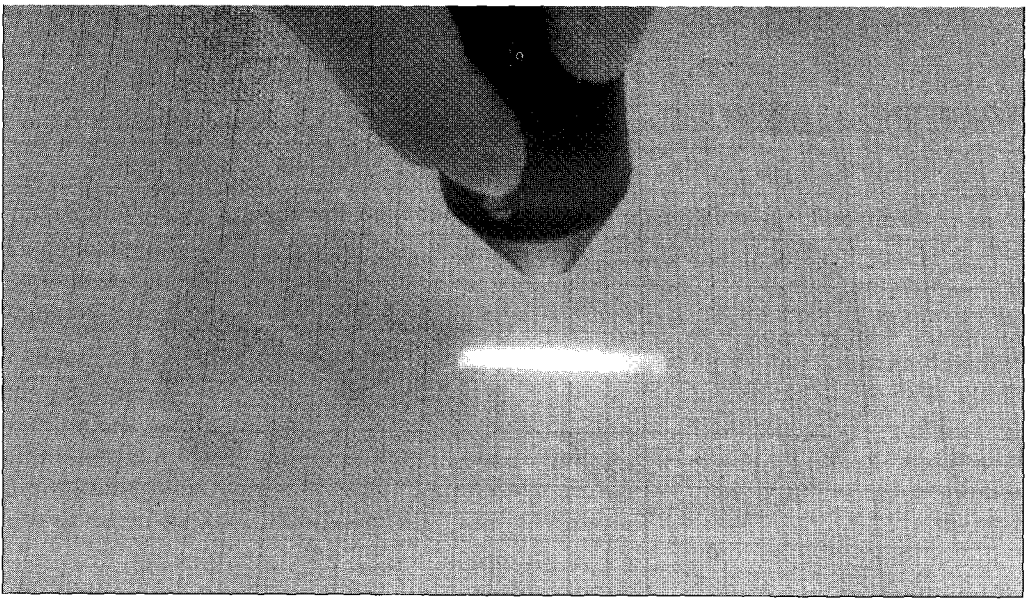
## Precauciones

- Eliminar de la piel pomadas u otras sustancias extendidas sobre ella.
- Que el paciente no mire directamente a la lámpara, es decir, que no reciba directamente IRA en los ojos; pues existe cierta polémica sobre la generación de cataratas al recibir IRA directamente.

- Controlar que la temperatura general no aumente.
- Precaución al aplicarlos sobre zonas en las que se localicen osteosíntesis a unos milímetros de profundidad.
- Varices en un primer estadio.
- Heridas en proceso de cicatrización que puedan sangrar o evacuar otros exudados.
- En pacientes sometidos a medicación de anticoagulantes y existan úlceras o heridas en proceso de cicatrización.
- Hemofilia.
- En pacientes con insuficiencia cardio-respiratoria.
- En procesos que cursen con edema importante.
- En denervaciones o parálisis parciales por su baja respuesta neurovegetativa.
- Ciertas alteraciones de la piel que deben someterse a la consideración del dermatólogo.
- Ante viejos procesos tuberculosos.
- Precaución cuando las osteosíntesis se hallen muy cercanas a la piel (tanto para el calor como para el frío).

## **Contraindicaciones**

- En heridas sangrantes o purulentas.
- En inflamaciones agudas.
- En pacientes con fiebre.
- En parálisis periféricas totales y severas (sobre todo, con pérdida de la sensibilidad térmica).
- En cicatrices queloides.
- En derrames intraarticulares e intratisulares recientes.
- En edemas importantes.
- En tromboflebitis.
- En varices dilatadas.
- En procesos cancerígenos.
- En procesos infecciosos y accesos que puedan evacuar hacia cavidades o intratisular.
- En procesos tuberculosos activos y otras infecciones en tejidos profundos que puedan sufrir reactivación.



## CAPÍTULO XVII

### Terapia láser

**E**sta técnica consiste en aplicar al organismo energía del espectro electromagnético para facilitarle su actividad bioquímica. El láser, en fisioterapia, debe desmitificarse, pues no es otra cosa que un procedimiento tecnológico por el cual se consigue que la luz así obtenida posea determinadas propiedades, que veremos más adelante; pero, en cuanto a luz, es exactamente igual que la normal. No obstante, *dicha tecnología* nos permitirá saber la potencia luminosa exacta disponible en todo momento y controlarla. *Ello nos conducirá a pensar con precisión en la cantidad de energía luminosa que recibirá el paciente de forma mensurada y precisa (ver capítulo XVII).*

La palabra, ya hispanizada, *laser* no es otra cosa que una sigla tomada del conjunto siguiente:

*Light Amplification Stimulated Emission Radiation; Light by Amplification Stimulated Emission of Radiation.*

Traduciendo diríamos:

*Luz amplificadora estimulada por emisión de radiación.*

Asimismo, existe la expresión *máser* (Microonda Amplificada (S) Estimulada por Emisión de Radiación).

Volviendo al láser, su luz es intensa, potente aporta gran cantidad de energía. Veamos un ejemplo.



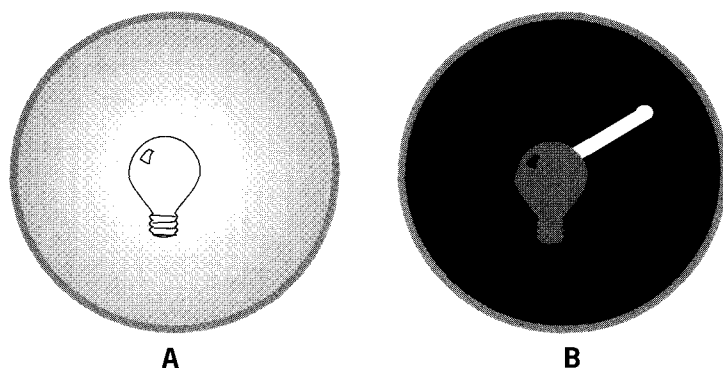


Figura XVII.1

Supongamos una esfera hueca (Fig. XVII. 1A). En su interior (en el centro geométrico) contiene una lámpara o bombilla que emite luz con potencia de 100 W. Su luz se reparte en todas las direcciones mediante infinitos rayos de luz, pudiendo apreciarse cómo se ilumina cualquier punto de la esfera. Partiendo de estas premisas, nos imaginamos, claramente, la iluminación que puede recibir cada  $\text{cm}^2$  de la superficie interna de la referida esfera.

Si pudiéramos hacer que todos los rayos se fueran superponiendo unos sobre otros en un único haz, conteniendo este todos los generados (a semejanza del plegado de un abanico) hasta que solamente viéramos un haz en una única dirección que contuviese toda la energía emitida por la lámpara, sería difícil imaginar la cantidad de energía que recibiese cada  $\text{cm}^2$  en el punto receptor, conteniendo dicho haz los 100 W en una pequeña superficie (Fig. XVII. 1B). A modo comparativo, piénsese en la concentración de luz que produce una lupa contando, únicamente, con los rayos recogidos en la superficie de ésta (Fig. XVII. 2).

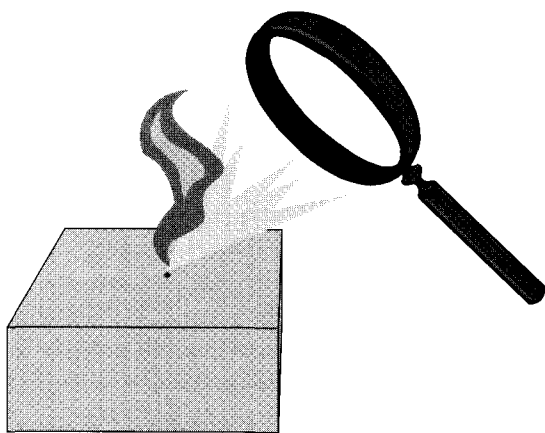


Figura XVII.2.

## Generación de la luz

La luz es emitida por los átomos cuando éstos mantienen sus electrones sometidos a estado de agitación considerable (Fig. XVII. 3). De forma que, cuando los electrones rompen los equilibrios de circulación por sus respectivas órbitas

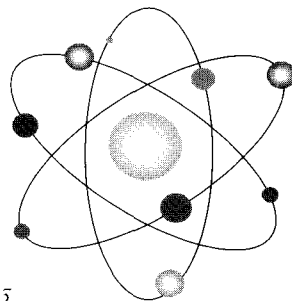
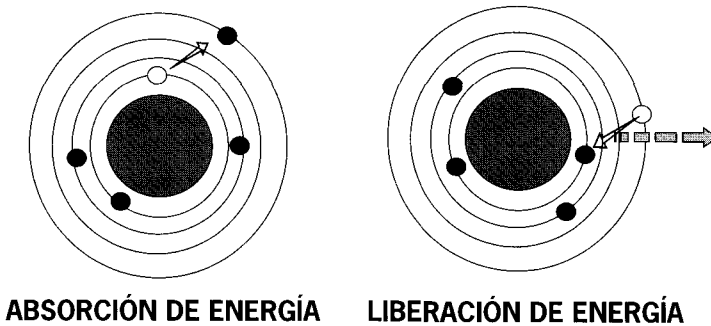


Figura XVII.5.

(saltando de unas a otras) por ser éstos estimulados mediante alguna energía: eléctrica, cinética, luminosa, electromagnética, etc., absorben parte de la energía aplicada para liberarla inmediatamente en forma de *fotones* o cuantos de energía contenidos en ondas electromagnéticas del espectro luminoso. Es el fenómeno denominado *emisión de radiación*.

Cuando un átomo absorbe energía, ésta permite la emigración de sus electrones de órbitas cercanas al núcleo hacia el exterior (Fig. XVII. 4). En el momento que cede la aplicación de energía, los electrones emigrados vuelven a su órbita original (cercana al núcleo), liberando la energía absorbida. Pero, *si la energía absorbida por el átomo no era precisa en sus parámetros y en cantidad, la irradiada o emitida en forma de fotones posee características precisas de longitud de onda y cantidad (potencia)*.



ABSORCIÓN DE ENERGÍA

LIBERACIÓN DE ENERGÍA

Figura XVII.4.

La utilización del láser en la industria para cortes de materiales o empleo en cirugía se basa en concentrar gran cantidad de energía en un pequeño punto, con la posibilidad de regular la superficie del punto y la potencia aplicada que, contando con el tiempo y movimiento, se convierte en una gran herramienta. *Lógicamente, en fisioterapia, lo usaremos para aportar energía al organismo de forma moderada, medida y controlada, sin causar daños celulares.*

En el generador de *láser*, cuando un átomo ha liberado un fotón y éste invade a un segundo, provoca que libere a su vez otro fotón. Los dos fotones (juntos y a la par) van a estimular a otros, con lo que aumenta el número de electrones estimulados y fotones emitidos en progresión aritmética (concretando, una reacción en cadena).

Si los átomos utilizados en este fenómeno son distintos, cada uno emitirá en su propia longitud de onda y distinta energía cuántica. Esto nos proporcionaría luz en diversos colores, **policromática** (Fig. XVII. 5). Pero si los átomos usados son homólogos, las características de la radiación emitida serán las mismas para todos, permitiendo disponer de una energía luminosa **monocromática** (Fig. XVII. 6).

Este fenómeno nos conducirá a establecer una diferencia fundamental entre la luz normal y la luz procedente de la tecnología láser. De esta forma, vemos en la figura XVII. 5 que la luz policromática posee distintas longitudes de onda, circunstancia que provoca interferencias entre ellas, divergencia del haz y nuevos colores (**luz no coherente**). La figura XVII. 6 muestra todas las ondas iguales y superpuestas, sin interferencias, sin divergencia y se mantiene el mismo color en un rayo paralelo (**luz coherente**).

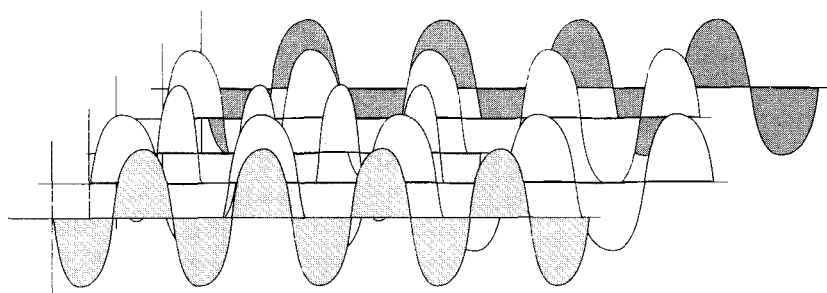


Figura XVII.5.

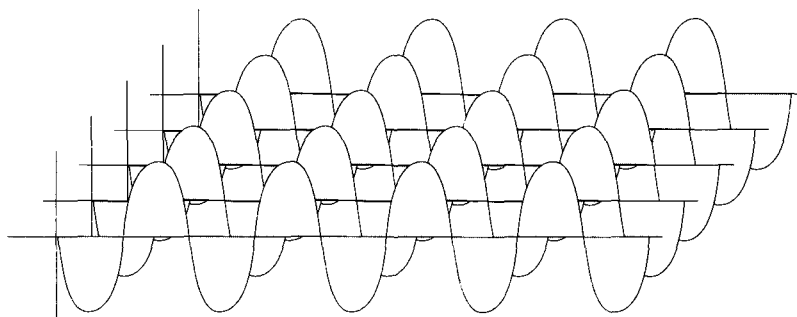


Figura XVII.6.

## Luz no coherente

La luz no es otra cosa que energía *electromagnética* emitida por la materia (como queda dicho más arriba) en determinados niveles de agitación atómica. Al ser emitida, se traslada por el espacio vacío y a través de algunos cuerpos que permiten su paso entre sus espacios interatómicos e intermoleculares. Avanza como ondas electromagnéticas, al igual que las ondas de radio, TV, rayos X, calor, etcétera.

Para detectar las ondas de radio, existen receptores desarrollados por la electrónica, que se encargan de ello. Los organismos vivos (que se sepa) no poseen ningún receptor para este tipo de ondas o banda del espectro electromagnético. La mayoría de ondas emitidas en bandas de radiofrecuencia no son de origen natural.

Desde siempre hemos estado rodeados de ondas electromagnéticas producidas por focos naturales, y dada su existencia, los organismos vivos evolucionaron de forma que han desarrollado detectores para poder captar dichas bandas de ondas electromagnéticas y utilizarlas para su provecho y relación con el medio.

Ante el calor (ondas electromagnéticas en la banda de infrarrojos), poseemos terminaciones nerviosas en la piel especializadas para detectarlo. Para la luz tenemos en la retina terminaciones nerviosas encargadas de captarla y convertir sus diferencias u oscilaciones en información para el cerebro, lo que permite al organismo relacionarse en el medio y con el resto de otros seres que le rodean.

El órgano del oído también está diseñado para captar ondas sonoras, aunque en este caso no tienen nada que ver con la energía electromagnética. Las ondas sonoras proceden de la energía cinética.

La luz es una radiación electromagnética que también manifiesta efectos sobre las reacciones químicas, desde simples a muy complejas, fenómenos que son aprovechados por los organismos vivos, por ejemplo: la función clorofílica de las plantas verdes, la síntesis de vitamina D en la piel, la destrucción de pequeños microorganismos (en bandas de ultravioletas) y otros efectos que se están descubriendo y describiendo (incluso algunos por descubrir o sometidos a polémica) sobre todo desde la aparición del fenómeno tecnológico Láser.

La banda del espectro electromagnético considerado como de la luz se halla a continuación de las microondas y antes de los rayos X. Después de los rayos X se encuentran las llamadas radiaciones cósmicas (ver la tabla del final del capítulo I). Dicha banda se divide en tres grandes grupos:

- **INFRARROJOS** (no visibles):
  - tipo C;
  - tipo B;
  - tipo A (cercaños).
- **LUZ VISIBLE:**
  - rojo;
  - naranja;
  - verde;
  - azul;
  - amarillo;
  - añil;
  - violeta.
- **ULTRAVIOLETAS** (no visibles):
  - tipo A;
  - tipo B;
  - tipo C (inicio de las radiaciones ionizantes).

El espectro electromagnético (en general) podemos medirlo de dos formas diferentes:

- *por frecuencia* de oscilación de las ondas, y
- *por longitud de onda* entre dos crestas sucesivas (Fig. XVII. 7).

La frecuencia es inversamente proporcional a la longitud de onda, ya que para obtener una de ellas, se divide la velocidad de propagación (como constante) entre la otra (Fig. XVII. 8).

La velocidad de propagación de las ondas del espectro electromagnético se expresa en metros por segundo (m/sg), dado que es el producto entre la longitud de cada evolución por el número de evoluciones (Fig. XVII. 8).

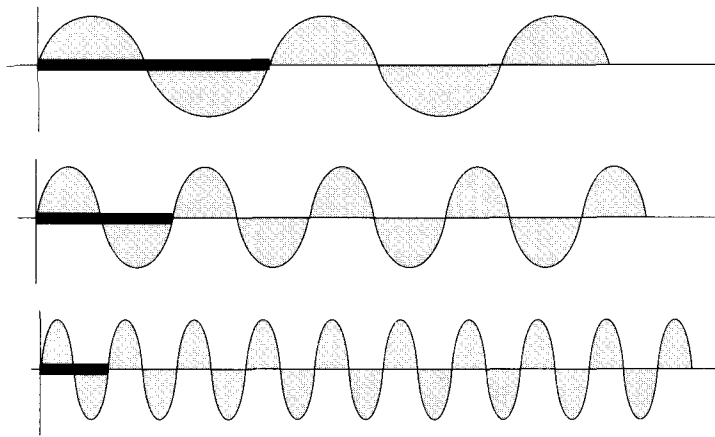


Figura XVII.7.

La frecuencia viene dada en hercios (ciclos por segundo), siendo el resultado de dividir la velocidad de propagación entre la longitud de onda (Fig. XVII. 8).

La longitud de onda (distancia entre dos ondas en metros) es el cociente de velocidad de propagación entre frecuencia (Fig. XVII. 8).

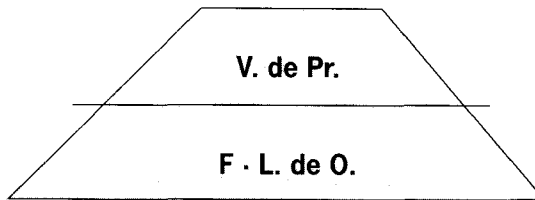


Figura XVII.8.

Con el fin de evitar el manejo de grandes cantidades con muchos ceros, se recurre a trabajar con múltiplos y divisores de la unidad, por lo que «al valor» usado se le anteponen las raíces del Sistema Internacional de Medidas:

Tera	= 1 · 1.000.000.000.000 ó 1 · 10 <sup>12</sup>
Giga	= 1 · 1.000.000.000 ó 1 · 10 <sup>9</sup>
Mega	= 1 · 1.000.000 ó 1 · 10 <sup>6</sup>
Kilo	= 1 · 1.000 ó 1 · 10 <sup>3</sup>
UNIDAD	= 1 · 1
mili	= 1 / 1.000 ó 1 · 10 <sup>-3</sup>
micro	= 1 / 1.000.000 ó 1 · 10 <sup>-6</sup>
nano	= 1 / 1.000.000.000 ó 1 · 10 <sup>-9</sup>
pico	= 1 / 1.000.000.000.000 ó 1 · 10 <sup>-12</sup>
fento	= 1 / 1.000.000.000.000.000 ó 1 · 10 <sup>-15</sup>
ato	= 1 / 1.000.000.000.000.000.000 ó 1 · 10 <sup>-18</sup>

## EJERCICIOS PRÁCTICOS

¿Qué longitud de onda tiene una radiación cuya frecuencia es de 2.450 Mhz?

$$300.000 \text{ Km/sg} / 2.450 \text{ Mhz} = \frac{300.000.000 \text{ m/sg}}{2.450.000.000 \text{ Hz}} = 0,122 \text{ m}$$

¿Cuál es la frecuencia de una onda cuya longitud es de 632 nm?

$$300.000.000 / 0,000000632 = 4,747 \cdot 10^{14} \text{ Hz (474.700.000.000.000 Hz)}$$

$$474.700.000.000.000 / 1.000.000 = 474.700.000 \text{ Mhz.}$$

$$474.700.000.000.000 / 1.000.000.000 = 474.700 \text{ Ghz.}$$

¿De qué frecuencia estamos hablando cuando decimos que necesitamos aplicar láser infrarrojo de CO<sub>2</sub> en 1.006 nm?

$$1.006 \text{ nm} = 0,000001006 \text{ m}$$

$$\frac{300.000.000 \text{ m/sg}}{0,000001006 \text{ m}} = 2,982107355865^{14}$$

$$(298.210.735.586.500 \text{ Hz o } 298,2 \text{ Ghz})$$

## Leyes de la luz

Si observamos lo acontecido durante la proyección de una película en una sala oscura, nos daremos cuenta de que los haces de rayos luminosos emergentes del proyector obedecen a una serie de leyes físicas:

- es interesante apreciar cómo la pantalla debe estar a una determinada distancia para conseguir el tamaño de la imagen adecuado y la intensidad lumínica suficiente (divergencia del haz);
- la pantalla debe mantenerse ligeramente curvada hacia los costados para que no se deformen las figuras y reciba igual luminosidad toda la superficie (concavidad del plano receptor, ángulo alfa);
- el haz de rayos no cambia de sentido, desde su origen hasta la pantalla (direccionalidad);
- el haz de rayos contiene distintas intensidades lumínicas, dependiendo del grado de luz que le permite pasar la semiopacidad de la película (pasa a través de ciertos elementos más o menos conductores de esta energía);
- vemos la pantalla por reflejarse la luz en ella (reflexión);
- vemos las figuras enfocadas y nítidas porque las lentes del proyector refractan la luz de forma regulada como para conseguir la nitidez en la pantalla (refracción);

- g) si colocásemos la mano frente y próxima al objetivo del proyector, notaríamos calor procedente de las intensas ondas de energía luminosa, de manera que si alejamos la mano, sentiremos el cese de calor. La luz porta energía y su densidad disminuirá con la distancia si el haz diverge.

De entre estas observaciones, intuimos las leyes que regulan la luz en general, leyes que nos interesan para compararlas con la luz procedente de la tecnología *láser* (ya que ésta rompe algunas de las que rigen la luz *no láser* o no coherente).

La luz *no láser* está formada por:

- corpúsculos;
- por ondas.

Posee:

- direccionalidad;
- reflexión;
- refracción;
- es policromática.

Se somete a la:

- ley de la distancia;
- ley de la divergencia;
- ley de la absorción;
- ley de la intensidad/tiempo.

## TEORÍA CORPUSCULAR

Newton enunció la teoría que atribuye a la luz su composición por *corpúsculos de materia (fotones)* procedentes de los átomos, cuando sus electrones se encontraban en estado de agitación, por aplicarles determinadas energías. La energía radiada por los átomos se mide en *cuantos de energía*, dependiendo ésta de la constante de Planck y la frecuencia.

## TEORÍA ONDULATORIA

Huygens aportó su teoría, explicando que la luz estaba formada por *ondas de energía electromagnética* de una determinada longitud de onda y su frecuencia correspondiente. En realidad, se dan las dos simultáneamente, es decir, sobre las ondas cabalgan los fotones.

## DIRECCIONALIDAD

La propagación de la luz avanza en línea recta por el vacío o por sustancias que permitan su paso (transparentes). La línea recta se mantiene siempre que el haz no cambie de medio o fluido con distintas densidades de materia (Fig. XVII. 9).

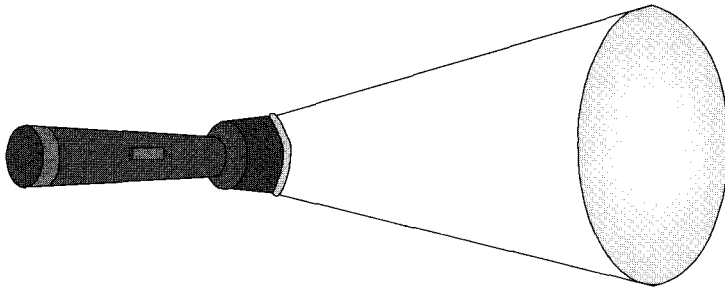


Figura XVII.9.

## REFLEXIÓN

La luz cuando alcanza a un objeto o superficie de un medio o fluido distinto al que se encuentra, parte es reflejada y parte es absorbida, dependiendo de las condiciones y angulación de choque, junto con las características de la materia y de la superficie del objeto: cuanto más pulida esté, mayor nivel de reflexión existirá. Asimismo, a mayor angulación distinta de la perpendicularidad a la superficie, mayor reflexión se manifestará, en perjuicio del menor porcentaje de penetración en la materia (Fig. XVII. 10).

## REFRACCIÓN

Cuando los rayos de luz son absorbidos y pasan de una sustancia a otra, o de un medio a otro de distinta densidad, se produce un cambio de dirección en su trayectoria, que implica, a su vez, cambios en el color, es decir, en su frecuencia o longitud de onda (Fig. XVII. 10).

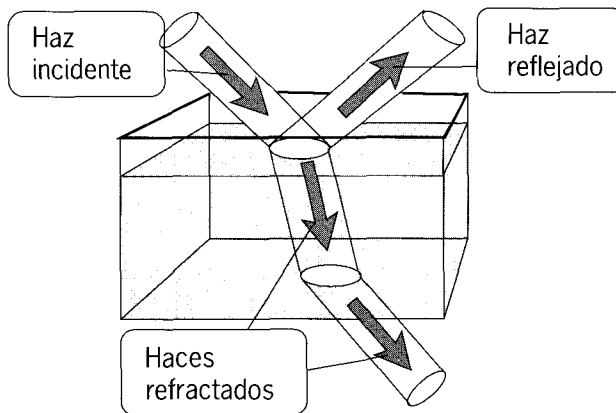


Figura XVII.10.

## POLICROMATISMO

Policromatismo significa que la luz, habitualmente, está compuesta por varios colores, aunque pueden predominar unos sobre otros e, incluso, filtrarse uno del conjunto. Lo cierto es que la pureza absoluta es muy difícil conseguirla, salvo con tecnología láser.



La coloración no es otra cosa que la detección por el ojo de una determinada frecuencia o longitud de onda. Si el ojo detecta varios colores, lo que estará percibiendo son varias longitudes de onda simultáneamente.

Al mezclarse e interferirse las distintas longitudes de onda de todo el espectro visual, conseguimos la luz blanca. Para descomponer la luz blanca en sus colores, se somete el haz blanco al paso por un prisma de cristal, y por efecto de refracción, emergerán por el lado opuesto del prisma las distintas longitudes de onda separadas y delimitadas (Fig. XVII. 11).

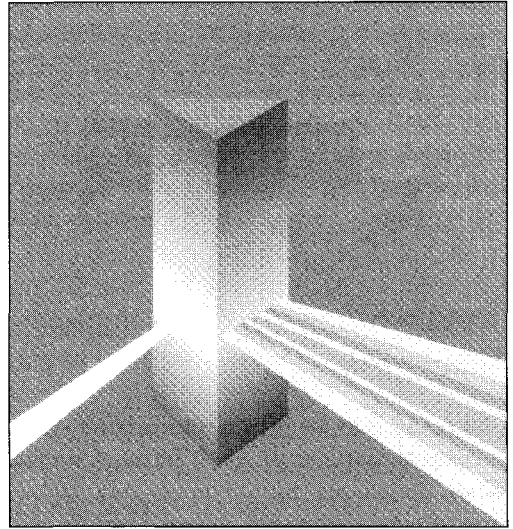


Figura XVII.11.

**LEY DE LA DISTANCIA O DIVERGENCIA**

Dado que la luz ambiental está formada por distintas longitudes de onda (distintos colores), provocará que los rayos se separen unos de otros en su avance, de forma que la densidad de los rayos por unidad de superficie disminuye (decrece la densidad de energía). Por lo dicho, la potencia de la luz normal o ambiental recibida en la unidad de superficie disminuye, como media, de forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa al objeto del foco. Luego:

$$W \text{ recibida} = \frac{W \text{ de origen}}{D^2}$$

*Ejemplo:* ante una medida de 1.000 W, procedente de un punto luminoso a 1 metro de distancia en una superficie dada, ¿cómo iría disminuyendo teóricamente su potencia metro a metro? (Fig. XVII. 12):

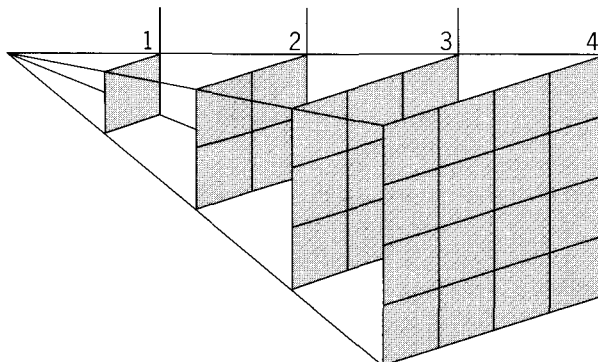


Figura XVII.12.

$$\text{a } 1 \text{ m} = 1.000 \text{ W};$$

$$\text{a } 2 \text{ m} = 2 \cdot 2 = 4; 1.000/4 = 250 \text{ W};$$

$$\text{a } 3 \text{ m} = 3 \cdot 3 = 9; 1.000/9 = 111,11 \text{ W};$$

$$\text{a } 4 \text{ m} = 4 \cdot 4 = 16; 1.000/16 = 62,5 \text{ W}.$$

Se dice que disminuye de este modo, «como media», con luz normal, ya que partimos de la base según la cual, consideramos que los rayos divergen  $45^\circ$  entre sí. Pero si manejamos luz enfocada, dirigida o colimada en distintos grados de divergencia, tendremos que aplicar la siguiente fórmula para calcular la pérdida producida por la distancia entre el foco y la pantalla (Fig. XVII. 13). **La energía recibida por unidad de superficie, a cierta distancia del foco, es inversamente proporcional al cuadrado del producto de la distancia por la tangente del ángulo de divergencia del foco. Es decir:**

$$W \text{ recibida} = \frac{W \text{ de origen}}{(D \cdot \text{tangente de } \alpha)^2}$$

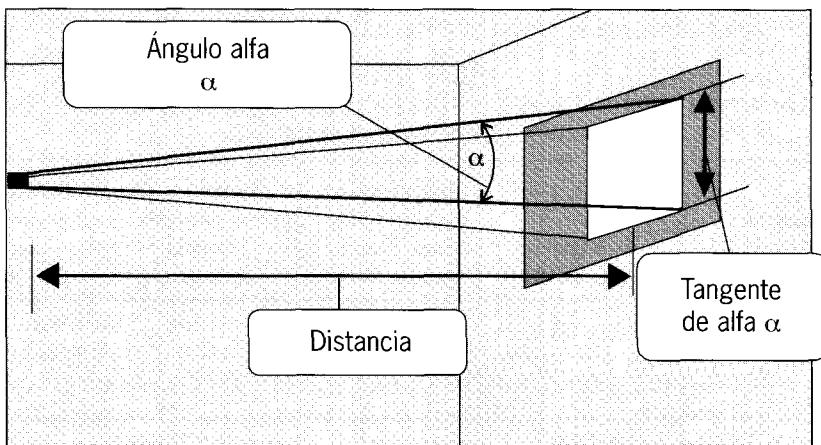


Figura XVII.13.

Esto se cumple siempre que consideremos la superficie iluminada como un cuadrado perfecto. Pero si, en su lugar, el foco es circular, a la fórmula se le añadirá el factor multiplicador «PI» (3,1416) (Fig. XVII. 14):

$$W \text{ recibida} = \frac{W \text{ de origen}}{(D \cdot \text{tangente de } \alpha)^2 \cdot \pi}$$

Las tres últimas fórmulas aproximativas son útiles en nuestros tratamientos pues se consideran que aplicaremos el láser en superficies planas (aunque en la práctica abundarán las convexas). En realidad, para calcular con la máxima precisión, debiéramos tener presente que la superficie iluminada es un casquete esférico cóncavo, de radio igual a la distancia entre foco y pantalla.

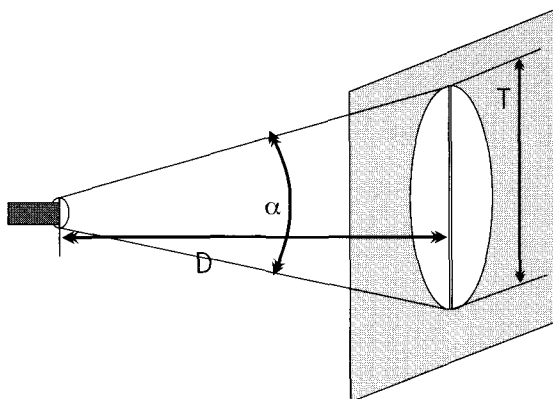


Figura XVII.14.

En la siguiente tabla XVII. 1 de valores indicadores de disminución en potencia, podemos apreciar las tangentes correspondientes a los 50 primeros grados (sirviéndonos de tabla) con sus resultados después de aplicar las tres fórmulas expuestas. Los cálculos están realizados a 130 metros con una potencia en origen de 1.000 W.

**TABLA XVII. 1**  
**TABLA DE DISMINUCIÓN LUMINOSA HASTA 50° DE DIVERGENCIA**  
**SEGÚN DISTINTAS FÓRMULAS**

$g^\circ$	Tangente $\alpha$	Disminución en pantalla cuadrada según grados	Disminución en pantalla cuadrada luz ambiente	Disminución en pantalla circular según grados	Disminución en pantalla circular luz ambiente
		$W_r = \frac{W_i}{D (T \text{ de } \alpha)^2}$	$W_r = \frac{W_i}{D^2}$	$W_r = \frac{W_i}{D (T \text{ de } \alpha)^2 \pi}$	$W_r = \frac{W_i}{D^2 \pi}$
1	,017455	194,2094	,0592	61,8188	,0188
2	,034921	48,5228	,0592	15,4453	,0188
3	,052408	21,5438	,0592	6,8576	,0188
4	,069927	12,1011	,0592	3,8519	,0188
5	,087489	7,7305	,0592	2,4607	,0188
6	,105104	5,3564	,0592	1,7050	,0188
7	,122785	3,9249	,0592	1,2493	,0188
8	,140541	2,9958	,0592	,9536	,0188
9	,158384	2,3588	,0592	,7508	,0188
10	,176327	1,9032	,0592	,6058	,0188
11	,194380	1,5661	,0592	,4985	,0188
12	,212557	1,3097	,0592	,4169	,0188
13	,230868	1,1102	,0592	,3534	,0188
14	,249328	,9519	,0592	,3030	,0188
15	,267949	,8242	,0592	,2623	,0188

TABLA XVII. 1  
(Continuación)

$\theta^\circ$	Tangente $\alpha$	Disminución en pantalla cuadrada según grados	Disminución en pantalla cuadrada luz ambiente	Disminución en pantalla circular según grados	Disminución en pantalla circular luz ambiente
		$W_r = \frac{W_r}{D (T \text{ de } \alpha)^2}$	$W_r = \frac{W_t}{D^2}$	$W_r = \frac{W_t}{D (T \text{ de } \alpha)^2 \pi}$	$W_r = \frac{W_t}{D^2 \pi}$
16	,286745	,7196	,0592	,2291	,0188
17	,305731	,6330	,0592	,2015	,0188
18	,324920	,5605	,0592	,1784	,0188
19	,344328	,4991	,0592	,1589	,0188
20	,363970	,4467	,0592	,1422	,0188
21	,383864	,4016	,0592	,1278	,0188
22	,404026	,3625	,0592	,1154	,0188
23	,424475	,3284	,0592	,1045	,0188
24	,445229	,2985	,0592	,0950	,0188
25	,466308	,2721	,0592	,0866	,0188
26	,487733	,2487	,0592	,0792	,0188
27	,509525	,2279	,0592	,0725	,0188
28	,531709	,2093	,0592	,0666	,0188
29	,554309	,1926	,0592	,0613	,0188
30	,577350	,1775	,0592	,0565	,0188
31	,600861	,1639	,0592	,0522	,0188
32	,624869	,1515	,0592	,0482	,0188
33	,649408	,1403	,0592	,0447	,0188
34	,674509	,1301	,0592	,0414	,0188
35	,700208	,1207	,0592	,0384	,0188
36	,726543	,1121	,0592	,0357	,0188
37	,753554	,1042	,0592	,0332	,0188
38	,781286	,0969	,0592	,0309	,0188
39	,809784	,0902	,0592	,0287	,0188
40	,839100	,0840	,0592	,0268	,0188
41	,869287	,0783	,0592	,0249	,0188
42	,900404	,0730	,0592	,0232	,0188
43	,932515	,0680	,0592	,0217	,0188
44	,965689	,0635	,0592	,0202	,0188
45	<b>1,000000</b>	<b>,0592</b>	<b>,0592</b>	<b>,0188</b>	<b>,0188</b>
46	1,035530	,0552	,0592	,0176	,0188
47	1,072369	,0515	,0592	,0164	,0188
48	1,110613	,0480	,0592	,0153	,0188
49	1,150368	,0447	,0592	,0142	,0188
50	1,191754	,0417	,0592	,0133	,0188

*Es importante observar cómo en los 45° coinciden los resultados mediante las dos fórmulas, tanto para superficies cuadrangulares como para circulares.*

El concepto aquí empleado como caída de potencia se refiere a que *la luz medida en la pantalla de observación, no lo es en toda la pantalla, únicamente será la recibida en una superficie igual a la del punto de origen luminoso*. Si el foco de origen tiene 10 cm<sup>2</sup>, en la pantalla colocada a distancia se tomarán también 10 cm<sup>2</sup> como zona de comparación (Fig. XVII. 15).

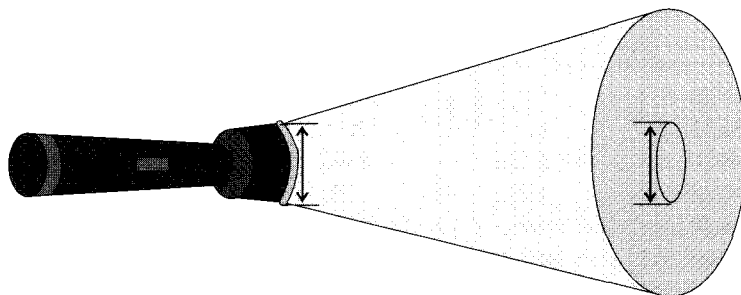


Figura XVII.15.

### LEY DE LA CONCAVIDAD

Cuando avanza un haz de rayos procedente de un foco que no produce concentración, éste va aumentando su anchura progresivamente, va divergiendo (Fig. XVII. 16).

Esto implica que si una superficie «plana» recibe luz procedente de un punto, recibirá más energía en la zona iluminada por los rayos centrales del foco que en los bordes de dicha superficie, debido, fundamentalmente, a la mayor longitud del vector que representa los rayos del borde, con respecto a los rayos del centro, atendiendo a la siguiente fórmula:

*La intensidad del rayo divergente (sobre superficie plana) es igual a la intensidad del rayo central por el coseno del ángulo formado entre ambos.*

$$I_d = I_c \cdot \text{coseno de } \beta$$

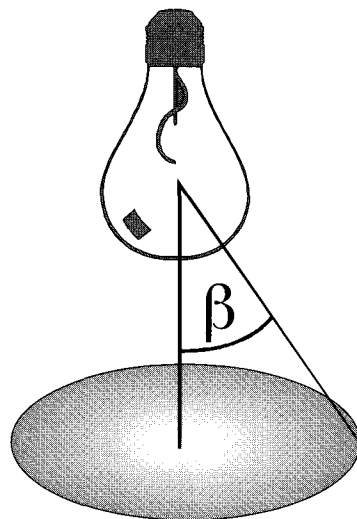


Figura XVII.16.

Si en los párrafos anteriores despreciábamos este concepto y dábamos como bueno que toda la superficie recibía la misma luminosidad, es por considerar, como aproximación aceptable, que si el foco se encuentra a bastante distancia, la diferencia entre vectores será despreciable. Pero, si el foco y la superficie están cercanos, este efecto se acentuará considerablemente. Circunstancia para no olvidar cuando apliquemos lámpara de infrarrojos o láseres de campos cónicos (ver capítulo XVI).

Si se han leído con atención los dos últimos puntos, puede parecer que se ha caído en contradicción al hacer cálculos con la tangente para superficies planas, cuando, en realidad,

la proyección de los haces luminosos se realiza sobre casquetes esféricos, en los que desaparece el fenómeno aquí referido de la concavidad y, en lugar de emplear la tangente, tendríamos que hacerlo con radianes. Pero dado que vamos a trabajar sobre superficies planas, donde las divergencias son mínimas, con errores despreciables y fórmulas mucho más sencillas, se mantiene lo expuesto.

## LEYES DE LA ABSORCIÓN

La luz que llega a una superficie, no toda es absorbida, sino que depende de características propias de la materia que compone la superficie receptora y del objeto, para que sean absorbidos distintos porcentajes de la intensidad aplicada. Analicemos a continuación un fenómeno muy importante que nos conducirá a entender algunos efectos fisiológicos conseguidos en nuestro organismo cuando aplicamos tratamientos con luz, sea de tipo láser o normal.

La materia está compuesta por átomos y moléculas formadas por éstos. Las moléculas y átomos se mantienen unidos entre sí dependiendo de dos fuerzas opuestas:

- cohesión y
- repulsión.

Cuando se establece un equilibrio entre ambas fuerzas, se crea una **distancia interatómica o intermolecular**, quedando un vacío por el cual puede avanzar un rayo de luz (si su longitud de onda es igual o menor que las dimensiones del hueco) hasta que (por ley de probabilidades) «tope» en su camino con algún átomo o molécula que lo desvíe o que lo absorba para transformar esta energía en otra, la cual agitará al átomo o a la molécula generando movimiento o mayor agitación molecular, tal vez rompiendo un enlace químico o provocando la síntesis de un nuevo enlace, etcétera.

Estos fenómenos y la capacidad de penetrar dentro de la materia vienen dados por el tamaño de los espacios intermoleculares, tamaño molecular y de las longitudes de onda de los rayos luminosos que la invaden. Dado que el rayo avanza en un frente ondulatorio, de manera que cuanto *menor* sea la superficie de dicho frente, *mayores* son las posibilidades de introducirse en la materia sin chocar con los átomos o moléculas (Fig. XVII. 17).

El posible efecto de alteración de la materia (detalle de la lupa) se genera con longitudes de onda muy cortas (en los ultravioletas de tipo C o inicio de las radiaciones ionizantes). Los infrarrojos poseen mayor longitud de onda y les costará más penetrar la materia.

Los gases presentan grandes espacios intermoleculares; los líquidos tienen menores espacios intermoleculares y los sólidos, en general, son más opacos o de mayor densidad de materia, con lo que no permiten el paso a través suyo (salvo en longitudes de ondas muy cortas o si su arquitectura molecular posea un alto grado de organización prismática a modo de cristales).

Un ejemplo demostrativo de estos fenómenos lo encontramos al sumergirse en las aguas submarinas, donde al principio del descenso, se pierden los colores rojos, seguidamente los naranja (por tener éstos las longitudes de onda más amplias del espectro luminoso) y asimismo, las primeras en absorberse por choques con la materia (el agua). Se van per-

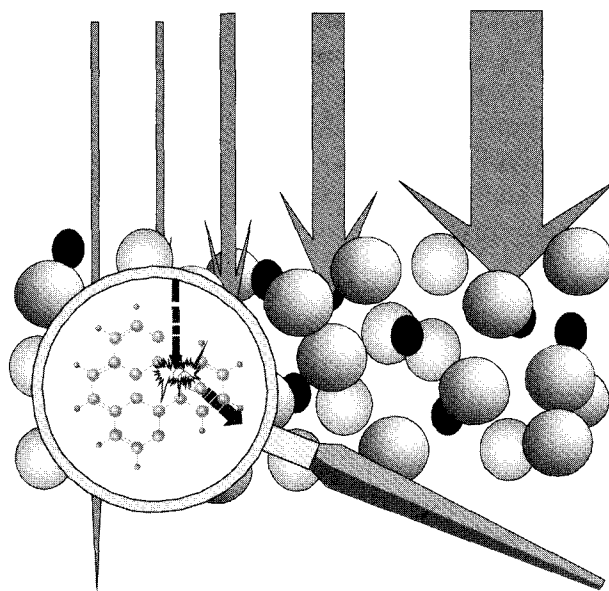


Figura XVII.17.

diendo colores hasta terminar viendo todo de color violáceo debido a su pequeña longitud de onda, para pasar enseguida a la oscuridad, ya que no podemos ver la banda de ultravioletas.

Además, se ponen de manifiesto otras propiedades muy interesantes a la hora de hablar del láser, para entender mejor sus posibles efectos:

- la materia, mejor, su composición, presenta determinadas aptencias o facilidades para absorber ciertas longitudes de onda;
- cada composición presenta bandas específicas de no absorción o reflejadas (la indicadora del color del objeto);
- ciertos enlaces químicos utilizan la energía de la luz para disociarse;
- otros enlaces necesitan la energía aportada por la luz para sintetizarse;
- algunas proteínas, al ser bombardeadas con energía en la banda visible y no visible, sufren cambios en su forma;
- cada elemento químico (simple o compuesto) posee un espectro propio de irradiación, que suele estar comprendido entre la banda de microondas e infrarrojos fundamentalmente, aunque también determinados elementos irradian en distintos colores de luz visible y ultravioletas;
- esta irradiación de energía (predominante en la banda de infrarrojos) parece tener influencias en otros elementos cercanos;
- cuanto mayor es la frecuencia, menor es la longitud de onda y mayor es la capacidad energética (determinada por la constante de Planck);

- si la longitud de onda es muy pequeña, los rayos profundizarán mucho e incluso atravesarán el objeto, volviendo a emerger por el lado opuesto, cediendo un pequeño porcentaje de la energía recibida. Los rayos X atraviesan con facilidad el cuerpo humano.

## LEY DE LA ENERGÍA RECIBIDA POR TIEMPO DE APLICACIÓN

Si necesitamos aplicar una determinada cantidad de energía lumínica a una superficie concreta, deberemos tener en cuenta dos parámetros fundamentales:

- la potencia de luz incidiendo y
- el tiempo de aplicación.

De tal forma que si deseamos aplicar 20 julios, podemos hacerlo de varias formas:

- aplicando mucho tiempo y poca intensidad o
- poco tiempo y mucha intensidad.

Por ejemplo:

$$20 \text{ J} = 4 \text{ W} \cdot 5 \text{ sg};$$

$$20 \text{ J} = 20 \text{ W} \cdot 1 \text{ sg};$$

$$20 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot 20 \text{ sg};$$

$$20 \text{ J} = 0,010 \text{ W} \cdot 2.000 \text{ sg};$$

$$20 \text{ J} = 100 \text{ W} \cdot 0,2 \text{ sg}.$$

Matemáticamente es cierto, pero todos sabemos que si estamos sometidos a luz débil (sea láser o no), el organismo lo absorbe perfectamente sin problemas. Pero, si nos exponemos a luz excesivamente potente, aun estando poco tiempo, las células no la soportan y son dañadas. *Es fundamental el concepto de velocidad en la aplicación.*

Los fisioterapeutas nos vemos obligados a trabajar con ciertos márgenes de potencia según el comportamiento orgánico, para que cumplan los efectos buscados, teniendo en cuenta que potencias luminosas bajas no son prácticas y potencias altas pueden dañar los tejidos orgánicos aún en poco tiempo. El láser quirúrgico se basa en depositar mucha potencia sobre un pequeño punto en un breve instante, por ejemplo, 300 J. En fisioterapia, es recomendable utilizar de *1 a 10 W para barridos, nunca en puntual.*

Esta ley debe ser matizada cuando hablemos del láser y sus efectos fisiológicos, ya que se ha comprobado que resulta más eficaz si se aplican potencias entre 5 y 10 W, que cuando se aplican las bajas, aunque los julios recibidos matemáticamente sean los mismos.

## DIFRACCIÓN Y LUMINISCENCIA

La difracción es un fenómeno por el cual, cuando la longitud de onda es mayor que el espacio por el que se introduce, se deforma la onda y se difracta, es decir, cambia de dirección parte de ella como si le costara despegarse del borde del objeto que impide su paso.



Este fenómeno produce una divergencia del haz que provoca interferencia con otros haces difractados e interferencias entre ellos con nuevas frecuencia y longitudes de onda. En resumen, nuevos colores (Fig. XVII. 18).

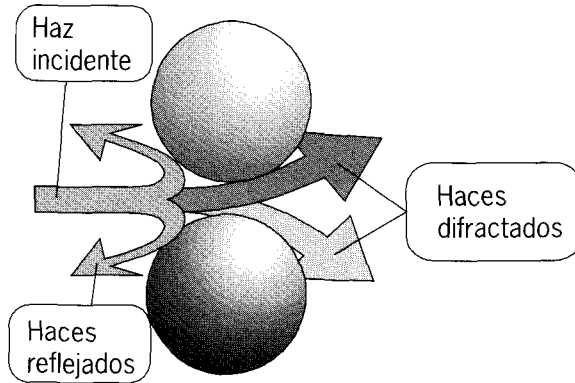


Figura XVII.18.

Esta generación de nuevos colores es *una de las causas* por las que determinadas sustancias reflejan colores no contenidos en la luz que los ilumina, caso muy característico de la iluminación con luz ultravioleta (no visible).

En la vida cotidiana, es cada vez más frecuente poder observar *luminiscencias* de nuestras ropas de vestir en las salas de fiesta, la llamada *tinta invisible* (sólo visible bajo ultravioletas), etc.; sustancias que, al ser iluminadas con la llamada «luz negra», sufren interferencias que producen nuevas longitudes de onda en la banda visible.

No todos los casos de luminiscencia se deben a este fenómeno; otros proceden de emisión espontánea de radiaciones en la banda de luz visible, irradiadas por las moléculas o átomos que forman la sustancia luminiscente a temperatura ambiente, sin que dichas moléculas sean sometidas a agitación atómica por aplicación de calor y otras energías. El fósforo es uno de los elementos que poseen esta característica.

Todos los elementos muestran su espectro de emisión característico bien en la banda de microondas, infrarrojos, luz visible, ultravioletas y otras de menor longitud de onda, como los elementos radioactivos.

## Comparación con el LÁSER

Las propiedades hasta ahora expuestas se refieren a la luz en general, pero la luz producida por el sistema de láser altera algunas de ellas, elimina otras y se mantienen la mayoría.

El láser como tal, se caracteriza por unas propiedades inherentes a él y sin las cuales dejaría de ser láser. Son:

- coherencia;
- monocromatismo;
- no divergencia;
- alta potencia.

## COHERENCIA

Decíamos más arriba que la luz está compuesta, normalmente, de varios colores o varias frecuencias, mientras que la luz *láser* solamente está formada por un color o una única frecuencia.

Si en la luz normal se mezclan varias frecuencias, interferirán unas ondas en otras, dando nuevas frecuencias de *batido* y perdiendo potencia las existentes, ya que, en la mayoría de los casos, se van a interferir y anular mutuamente (Fig. XVII. 19).

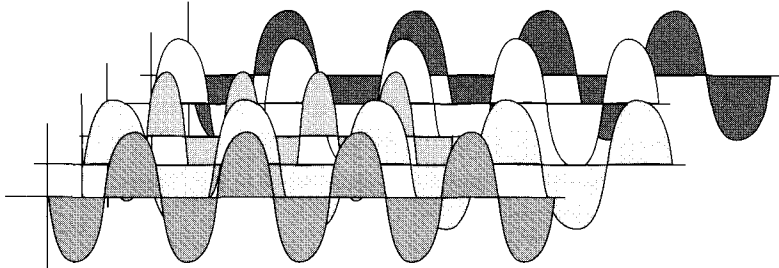


Figura XVII.19.

En *láser*, la frecuencia es *única*, por lo que en principio no se dan nuevas frecuencias de *batido* ni interferencias entre varias frecuencias. Pero la característica llamativa de la *coherencia* consiste en que todos los rayos que componen el haz presentan su ondulación coincidiendo todas las crestas en superposición (Fig. XVII. 20).

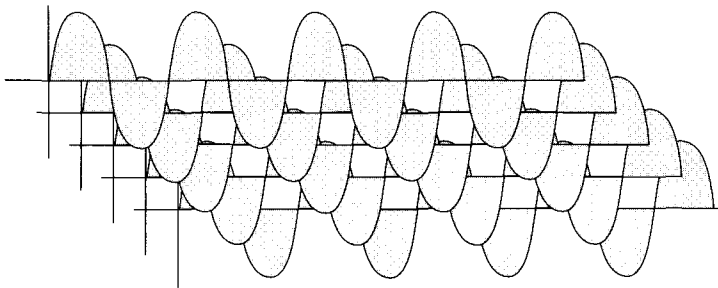


Figura XVII.20.

Por otra parte, se produce un efecto de paralelismo mantenido, aunque la distancia entre el foco y el objeto sea considerable. Luego la coherencia contribuye a mantener (a pesar de la distancia) la potencia lumínica del haz por no interferirse unos rayos con otros.

## MONOCROMATISMO

El monocromatismo y la coherencia tienen todo en común: la coherencia resalta la coordinación de las ondas entre sí, mientras que el monocromatismo destaca un único tipo de onda (en su longitud de onda), pero, necesariamente, una condición conduce a la otra.

Esto significa que, aunque a un haz *láser* lo hagamos traspasar un prisma, no se descompondrá en varias longitudes de onda o en otros colores, ya que el haz solamente está formado por una única longitud de onda o color (en teoría «purísimo»).

## NO DIVERGENCIA

En principio, la no divergencia depende del sistema generador, pues algunos producen un haz plano de  $360^\circ$  que se debe colimar mediante lentes, en tanto que otros ya emergen con paralelismo de la cavidad resonadora.

Decíamos que los haces de luz normal divergen a lo largo de su recorrido. Con el procedimiento de *láser* se altera esta propiedad, debido a la forma de generar los rayos y su monocromatismo. Los rayos procedentes de los gases ionizados se producen en todas las direcciones y para evitar que ocurra así, se colocan dos espejos paralelos frente a frente, dejando entre ambos la sustancia ionizada (gas) que genera las emisiones.

Al confrontar los espejos, los fotones son reflejados infinitas veces y otras tantas veces estimularán a otros átomos que encuentren en su recorrido, produciéndose una reacción en cadena provocada por todos los fotones que circulan en ambos sentidos (de espejo a espejo) recibiendo este conjunto el nombre de *cavidad resonadora* (Fig. XVII. 21).

Uno de los espejos presenta en su centro un punto semitransparente, de manera que los rayos que coincidan en dicho lugar salgan al exterior de la cavidad resonadora en el porcentaje correspondiente al nivel de transparencia del espejo. Los rayos de este haz emergente mantendrán el paralelismo conseguido en la cavidad resonadora. El grado de divergencia o de colimación del haz depende, fundamentalmente, de la calidad en la construcción del resonador.

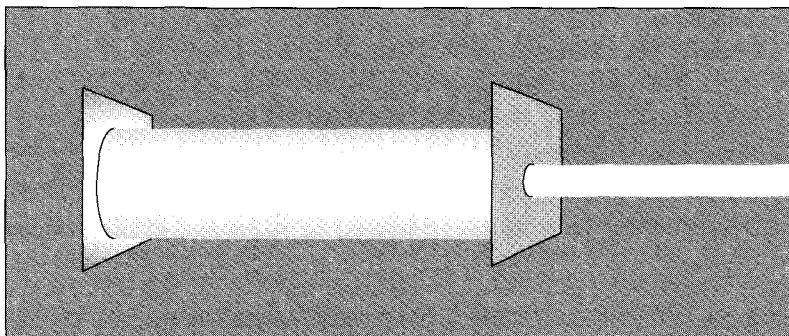


Figura XVII.21.

En el sistema de *láser* de rubí y de diodo, la divergencia es importante, de manera que si pretendemos evitarla, será a base de sistemas ópticos o, simplemente, teniéndola en cuenta como parámetro propio del haz a la hora de aplicar.

## ALTA POTENCIA

Existen varias razones para que la luz *láser* se caracterice por alta potencia luminosa, a pesar de la distancia recorrida por el haz; pero, por muchas y repetidas que se aporten, se

resumen en un dispositivo tecnológico, que pueda generar un haz de rayos *potente, fino, paralelo y monocromático*.

¿Cuál sería un ejemplo de este fenómeno?: *un grupo de arqueros disparando cada cual su flecha, procurando que todas las flechas incidan en el mismo punto y en el mismo instante. Concentración de mucha energía en un pequeño punto.*

Son razones suficientes como para entender que la potencia del *láser* sea mucho mayor que la de un haz de luz normal (aunque se haya colimado).

## Tipos de *láser*

Podemos establecer varios tipos de clasificaciones atendiendo a distintas pautas:

- por la consecución y su elemento productor;
- por la banda del espectro electromagnético en que se emite;
- por niveles de potencia;
- por el sistema de aplicación;
- por su tipo y efectos biológicos.

Tratemos de esquematizar y concatenar en lo posible todos estos parámetros.

## Método de producción

En cuanto a la forma de conseguir la luz *láser* y el elemento del que se obtiene, podemos hacer tres grandes clasificaciones:

- *Láser* de gases elaborado mediante descargas eléctricas sobre determinados gases (Fig. XVII. 22).
- *Láser* de diodo obtenido por el paso de corriente a través de un semiconductor (Fig. XVII. 24).
- *Láser* de rubí producido por destellos luminosos sobre cristales dopados con elementos semiconductores (Fig. XVII. 25).

Vamos a tomar un ejemplo característico de cada método, partiendo del hecho que, salvo alteraciones de tipo técnico, lo explicado a continuación es norma general para cada grupo.

### LÁSER DE GASES

Se consiguen partiendo de los siguientes elementos (Fig. XVII. 22):

- Un tubo cilíndrico, hermético y alargado que contenga el gas o la mezcla de los gases.
- El tubo en sus extremos posee sendos espejos paralelos entre sí, con el fin de conseguir reflexiones infinitas de los rayos.

- Uno de los espejos presenta en su centro una pequeña zona del 5 al 20% de semi-transparencia.
- El tubo soporta dos electrodos destinados a aplicar descargas eléctricas sobre los gases para ionizarlos o estimularlos.
- Generador y amplificador de impulsos eléctricos de alto voltaje destinados a excitar o ionizar al gas.

El generador de impulsos eléctricos aplica descargas de alto voltaje a la mezcla de gases mediante los electrodos destinados a tal fin, para ionizarlos o desequilibrarlos electrónicamente, es decir, hace que los electrones salten de su órbita de conducción a la órbita de valencia, más distante del núcleo, absorbiendo energía, para, inmediatamente, volver a su órbita original, liberando energía en forma de radiación fotónica *sin interrupciones* en una determinada longitud de onda.

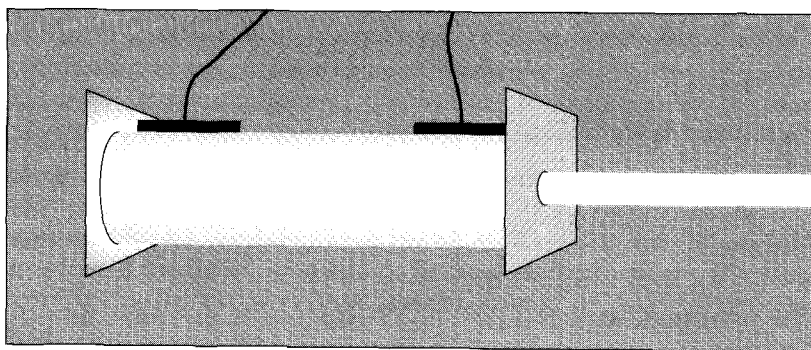


Figura XVII.22.

Los fotones que tomen el sentido paralelo a la longitud del tubo serán reflejados repetidas veces por los espejos y, repetidas veces, estimularán la emisión de otros fotones que seguirán al primero, paralelos entre sí, de forma tal que, en el sentido longitudinal al tubo, se consigue un efecto de amplificación luminosa muy por encima de la que se puede producir en el resto de las direcciones. Por el centro de uno de los espejos, saldrá un pequeño haz de rayos que mantendrán el paralelismo entre sí.

La forma en que surge el haz del tubo puede variar; tal vez, la más habitual, sea la referida, pero en otras ocasiones se realiza por retirada momentánea de uno de los espejos, produciéndose impulsos láser de mucha mayor potencia, pero de emisión pulsada (no continua).

La forma del haz *láser*, el diámetro del haz, la superficie del haz, el grado de divergencia, el medio de transmisión al paciente, son datos que los aporta el fabricante y que debemos tener muy en cuenta en el momento de materializar la aplicación.

## LÁSER DE DIODO

Como su nombre indica, para obtener luz láser por este método, se opera con un pequeño componente electrónico denominado *diodo*.

Un diodo no es otra cosa que dos minerales de distintas características eléctricas, los cuales puestos en contacto dejan pasar una corriente eléctrica en un sólo sentido, pero no en el inverso.

En la unión o caras de contacto de ambos prismas de minerales semiconductores, se produce transformación de energía u ondas electromagnéticas en la banda de infrarrojos, rojo u otros colores, además de calor como residuo no útil. La longitud de onda depende del tipo de minerales y de su dopaje. La potencia se consigue con mayor o menor intensidad de corriente eléctrica que circule entre ambos prismas.

En la vida cotidiana podemos observar este fenómeno en multitud de casos y circunstancias: los dígitos luminosos de una calculadora o cualquier otro aparato que presente información en forma de letras o números «luminosos», así como los mandos a distancia de los televisores y también los *led* o puntos luminosos que aparecen en los aparatos modernos para informarnos de su funcionamiento.

Por este sistema se consiguen gran variedad de longitudes de onda o colores, pero en nuestro caso, si utilizamos el *arseniuro de galio* dopado con *teluro* y *zinc*, N y P, respectivamente (Fig. XVII. 23), obtendremos las potencias y longitudes de onda que nos interesan para nuestros tratamientos en la gama de los infrarrojos con longitudes de onda comprendidas entre 780 y 850 nm.

El diodo emisor del láser que utilizaremos es un *conjunto* formado por dos prismas puestos en contacto físico y cuyas medidas de cada uno oscilan entre 0,1 · 0,1 · 1,25 mm (los de última generación son mayores).

A cada uno de los pequeños prismas que componen el conjunto *diodo* se le aplican sendos electrodos por los que circulará corriente eléctrica suficientemente alta como para obtener potencias láser importantes, corriente de 10 a 20 Amp, de manera que, en las superficies que entran en contacto, se emite un pulso de luz láser en el que predomina una única longitud de onda sobre el resto; pero, realmente, se irradian varias longitudes de onda próximas entre sí. Entonces, no es tan perfecto como el sistema de gases.

Las pequeñas dimensiones del diodo y la alta intensidad de corriente harían que se fundiera en muy corto espacio de tiempo. Para evitar este problema, se aplica la corriente durante pequeños instantes seguidos de amplios reposos, con el fin de permitir la refrigeración del diodo. Esto nos aclara por qué el tipo de emisión no es continua, así como la necesidad de acogerlo en un eficaz sistema refrigerador para el diodo.

Los equipos de emisión láser por *diodo* constan de un aparato donde se controlan las características del tipo de aplicación, el tiempo y la generación de los impulsos eléctricos, que, conducidos por un cable, van a terminar en el cabezal de aplicación, el cual a la vez es el receptáculo del diodo generador de luz láser.

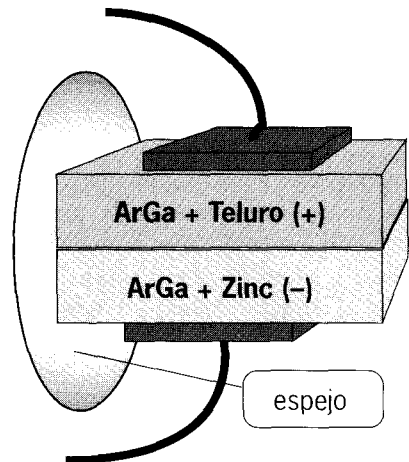


Figura XVII.25.

Luego el aplicador o cabezal consiste en una caja donde se encuentran el *diodo*, un *espejo* en contacto con el diodo y un *sistema óptico* destinado a reducir al máximo la divergencia de los rayos emitidos, con el fin de aprovechar mejor el rendimiento luminoso (Fig. XVII. 24).

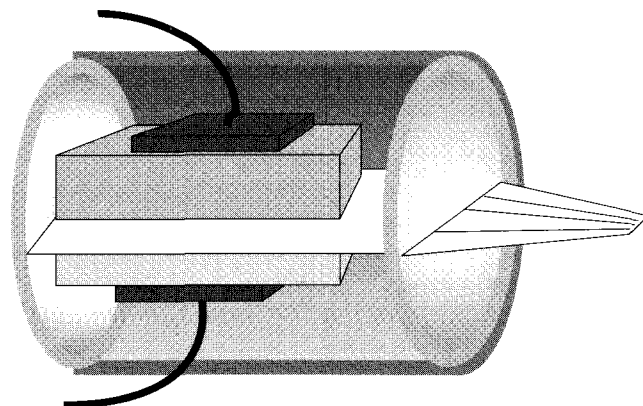


Figura XVII.24.

Llama la atención el tamaño y pesadez del cabezal: ello es debido al sistema refrigerador del diodo. También el cable que une el cabezal con el aparato generador de impulsos eléctricos es grueso y bien protegido, por supuesto, para tratar de evitar posibles fugas eléctricas a causa de la alta intensidad circulante por el cable. Se debe prestar especial atención al cuidado del cable y prevenirse en caso de deterioros.

## LÁSER DE RUBÍ

Este sistema no tenía utilidad en fisioterapia, pero se está iniciando su aplicación. Para conseguir el láser de rubí necesitamos partir de un cilindro de cristal fabricado a temperaturas mayores de lo habitual (alrededor de 1.500 grados «Ytrio-Aluminio-Granate» YAG), pero contaminado o dopado con cierta cantidad de minerales raros como el neodimio o una mezcla de cromo y óxido de aluminio Hd: YAG, Na: YAG, Ho: YAG, Er: YAG y otros (Fig. XVII. 25).

Sobre este cilindro de cristal, que recibe el nombre de «rubí», se descargan fuertes destellos luminosos de luz blanca con lámparas de flash a lo largo de su cara tubular para bombardear electrónicamente al rubí y estimular la emisión de fotones.

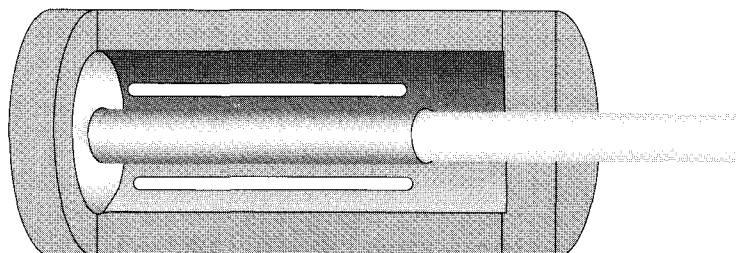


Figura XVII.25.

Los destellos son reconducidos por las caras que corresponden a las bases del cilindro en forma de luz láser. En este caso, la estimulación para la emisión es producida por los destellos de las lámparas y no por descargas eléctricas como en el caso del gas o a través de diodos.

Todo este conjunto, cilindro de cristal y lámparas, es contenido dentro de un recipiente bien refrigerado, de forma tal, que frente a una de las caras planas del rubí se encuentra el orificio por el que surge el haz de rayos láser. La otra cara plana, o base del cilindro, se encuentra adherida a un espejo que refleja los rayos hacia la abertura opuesta.

El láser de rubí es emitido a destellos o impulsos (*pulsátil*) a la misma frecuencia que los destellos estimuladores. Su potencia es considerable, pudiendo llegar hasta 1.000 W o más. Su utilización más frecuente es para la industria; en medicina, para cirugía (tiende al desuso).

Se emite en la banda de infrarrojos con una longitud de onda aproximada de 1.006 nm, dependiendo del grado y tipo de mineral contaminante del cristal.

## Banda de emisión y niveles de potencia

En la tabla XVII. 2 se representan y se resumen los tipos de láser usados en fisioterapia, tanto en la modalidad de *gases* como en *diodo*, algunos del grupo de gases se emplean en divertimento, industria e, incluso, en cirugía y se contemplan a modo de curiosidad.

Es muy importante fijarse en las potencias que son capaces de generar cada sistema, pues el de He-Ne siempre quedará muy bajo con respecto a los demás. El láser de CO<sub>2</sub> ofrece sistemas regulables de los que podemos conseguir potencias muy altas, pero en fisioterapia no debemos pasar de los 10 W reales o eficaces. En los sistemas de diodo, disponemos de potencias medias muy bajas en general, aunque se están construyendo diodos muy potentes o, también, se asocian o agrupan en placas para conseguir potencias sumativas de 2, 3, 4, 5, 10 diodos o incluso más. Se están fabricando diodos de 1 W y trabajo continuo en lugar de pulsado.

## Modos de aplicación

Los sistemas de gases se denominan, habitualmente, *láser de cañón* (Fig. XVII. 26), mientras que a los de diodo, *láser puntual* (Fig. XVII. 27). Esto requiere de ciertas aclaraciones, pues aunque el láser de He-Ne se emite desde un sistema complicado de cañón, aporta muy poca potencia. Por otra parte, ya se están aplicando sistemas constructivos de cañón para diodos o racimos de diodos que emiten en barridos o en campo cónico (a causa de su potencia muy alta), pues aplicados en puntal o cabezal, quemarían al paciente.

## APLICACIÓN CON SISTEMAS DE CAÑÓN

Haciendo referencia específica al modo de aplicación o transmisión del haz en el láser de cañón las formas fundamentales son tres:

- directamente del tubo a través de un orificio en el chasis;
- directamente, pero reflejado y dirigido por espejos y
- conducido por fibra óptica.



TABLA XVII. 2

Tipo	Color	L. de Onda	Potencia
<b>Gases</b>			
Elio-Neón (He-Ne)	Rojo	632,8 nm	De 0,5 a 50 mW
Argón iónico <i>(No se utiliza en fisioterapia)</i>	Verde	514,5 nm	De 2 a 20 W
	Verde	501,7 nm	
	Azul	496,5 nm	
	Azul	488,- nm	
	Violeta	476,5 nm	
	Violeta	472,7 nm	
Co <sub>2</sub>	Infrarrojos (no visible)	Desde 905 a 10.000 nm	De 0,01 a 5.000 W
<b>Diodo</b>			
Arseniuro de Galio (Ar-Ga)	Infrarrojos (no visible)	Desde 780 a cerca de 1.000 nm	De 0,01 a 5 W (con racimos de diodos pueden alcanzarse potencias considerables)
<b>Rubí</b>			
Ytrio-Aluminio-Granate dopado con Neodimio (Nd: YAG)	Infrarrojos (no visible)	1.064 nm	De 0,1 a 10 W <sub>m</sub> (la potencia de pico puede alcanzar 1.000 W)

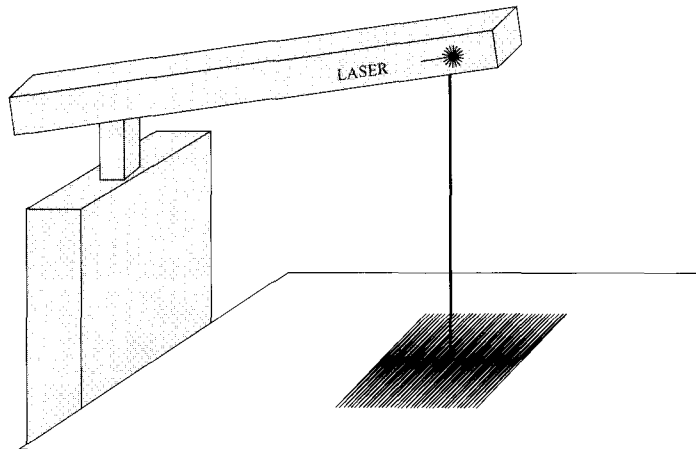


Figura XVII.26.



Figura XVII.27.

Directamente del tubo es la forma más eficaz y en la que mejor se aprovecha la potencia del haz; pero, a su vez, es muy poco práctica, dado que requiere un complejo sistema de colocación del aparato o del paciente.

Directamente, pero dirigido por espejos, será la forma más habitual, ya que unos buenos espejos no hacen perder eficacia al rayo y con facilidad pueden ser dirigidas a donde se pretenda (Fig. XVII. 28). Normalmente, estos espejos son controlados por un sistema de motores que los hacen girar unos grados sobre distintos ejes repetidamente, dibujando un barrido sobre la zona predeterminada. Este sistema recibe el nombre de *barrido por escáner* (scanner).

Conducido por fibra óptica va a ser la manera mejor de llevar el haz láser a determinadas zonas que, de otra forma, no son muy accesibles, como: orificios, cavidades, zonas de la boca, oquedades, aplicación en puntos de acupuntura, en proximidad de los ojos, etc. Pero esta modalidad presenta inconvenientes por varias razones:

- Aparece divergencia del haz a la salida de la fibra con la consiguiente pérdida de una de sus propiedades: la *no divergencia* o *colimación* y, por ende, *su potencia*.
- Parte de la potencia del haz luminoso no alcanza el extremo opuesto de la fibra, pues aparecen pérdidas al reflejarse y refractarse cuando el haz aborda a la fibra.

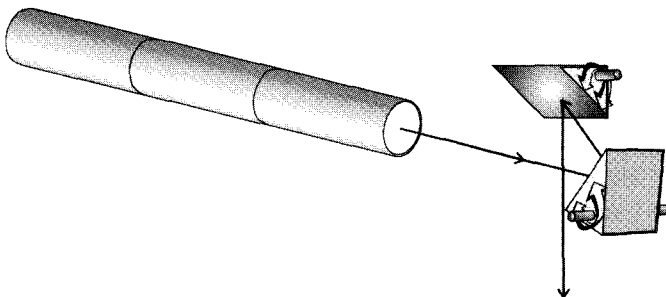


Figura XVII.28.

- La fibra óptica presenta pérdidas de luminosidad más o menos importantes dependiendo de su calidad y longitud:
  - las fibras de *vidrio* son poco elásticas, muy caras de buena calidad, con pocas pérdidas y «muy frágiles»;
  - las fibras de *cuarzo* son muy caras, de muy buena calidad, no presentan pérdidas de luminosidad (o muy bajas), excesivamente frágiles, requieren grandes cuidados y son de calibre muy pequeño;
  - las fibras de *plástico* (plásticos especiales) son baratas, muy flexibles, calibres adecuados al haz, pero presentan pérdidas que pueden oscilar del 30 al 60%.

Las fibras que habitualmente se están empleando en los equipos que manejamos los fisioterapeutas como terapia láser son las de plástico. Pero, debido al alto grado de pérdidas de luminosidad (que necesariamente debemos tenerlas presentes, en el momento de los cálculos para la aplicación de las sesiones), no se deberían utilizar, salvo en casos específicos. La aplicación de láser con fibra óptica implica que el método es *puntual* y no en *barrido*.

## APLICACIÓN CON SISTEMAS DE DIODO

Dado que los diodos se localizan en el extremo distal de los cabezales, su aplicación se realiza manteniendo el cabezal en un punto, pero también se están instalando en elementos semejantes al cañón para irradiar desde cierta distancia, creando un haz que barre una zona o un cono cuya base es la zona de aplicación. Los clasificaremos en:

- directamente del cabezal a través de una lente;
- haz colimado desde el cañón pero reflejado y dirigido por espejos y
- haz divergente o en base cónica.

## Métodos de aplicación

Los métodos usados para hacer tratamientos de laserterapia, tanto en sistemas de cañón como de *diodo*, son fundamentalmente tres:

- *puntual en un punto o puntos predeterminados*;
- *barrido de puntos*;
- *barrido total de toda una zona*.

*Puntual* en un punto o puntos predeterminados obedece a razones técnicas o selección en un punto muy concreto, cuando se aplica sobre puntos de acupuntura o por razones que dependan del tratamiento.

Suelen practicarse con fibra óptica, con el escáner parado en un punto fijo (Fig. XVII. 29) o con el cabezal del láser de diodo. Lógicamente, esta modalidad de puntos se aplica con poca potencia.

Los *barridos* de puntos se aplican desde los sistemas de cañón con espejos y se practican en ocasiones donde un barrido completo prolongaría excesivamente la sesión (caso del láser de He-Ne). Podemos escoger áreas cubiertas por una red de puntos (2-3, 4-4, 4-6, 6-6, etc.) (Fig. XVII. 30). Esta modalidad se realiza con el scanner en un punto tras otro, o con el escáner programado para que lo haga en los distintos puntos que se le han marcado en la programación. Con el láser de diodo, frecuentemente, se aplican varios puntos en una zona, pero no de forma cuadriculada. Lógicamente, esta modalidad de puntos se aplica con poca potencia.

Los *barridos* de toda una zona (sin dejar espacios sin energía), normalmente, representarán la mayoría de las sesiones láser, siempre que el equipo lo permita, pues esta modalidad se consigue con los sistemas de cañón que controlan espejos para que éstos dibujen de forma repetida un «vaivén» del haz colimado, sin que reste alguna zona por recibir su dosis correspondiente dentro de la superficie ajustada (Fig. XVII. 31).

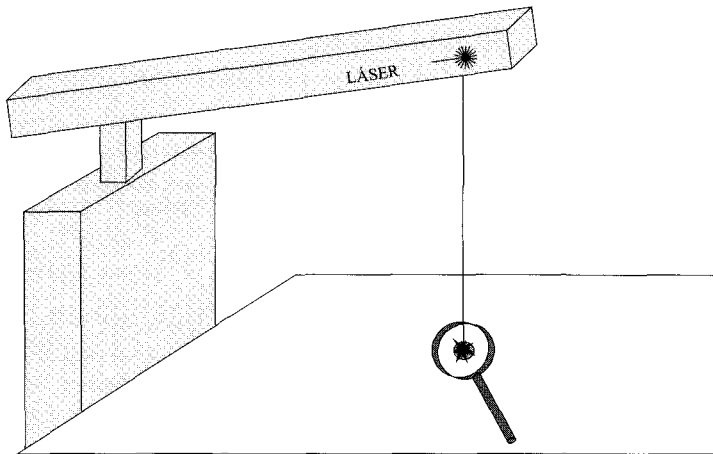


Figura XVII.29.

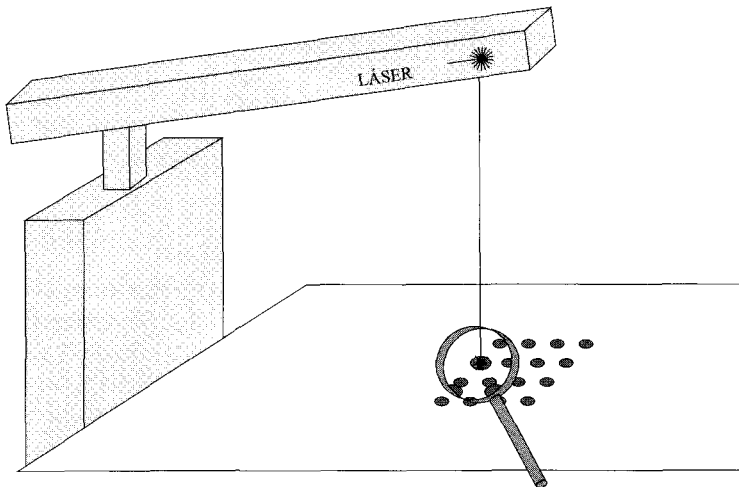


Figura XVII.30.

El correspondiente montaje mecánico de espejos que giran algunos grados en distintos planos, unos con respecto a otros, y controlados por una previa programación, hará que el rayo oscile por la zona a velocidades bastante altas hasta llegar a provocar la ilusión de luminosidad permanente en toda la superficie elegida.

Otra forma de cubrir una determinada superficie corporal se consigue mediante la radiación en forma de *cono divergente* con sistemas de cañón, conteniendo diodos en lugar de tubos con gas. Estos diodos deben poseer potencias eficaces considerables, tanto que, si se aplican directamente colimados en un punto, quemarían al paciente (Fig. XVII. 32).

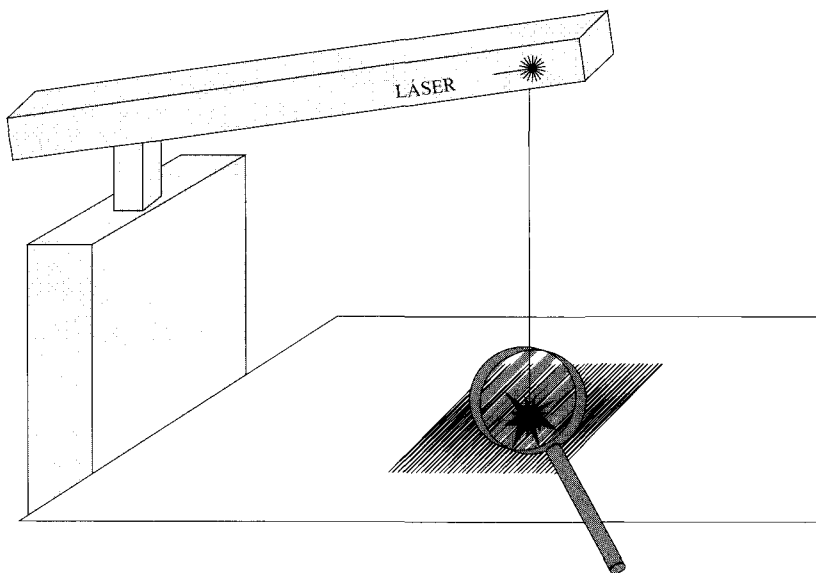


Figura XVII.51.

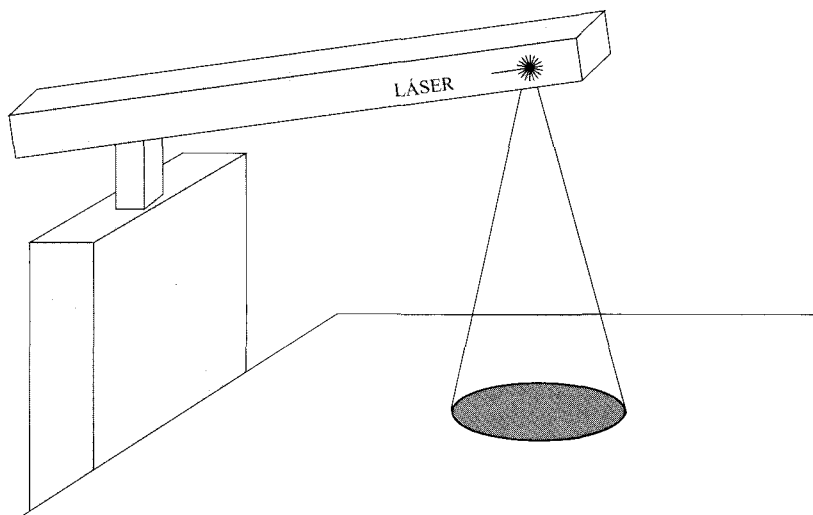


Figura XVII.52.

## Tipos de láser y sus efectos

Como se viene diciendo, aplicamos tres tipos:

- Helio-Neón (He-Ne).
- CO<sub>2</sub>.
- Arseniuro de Galio (Ar-Ga).

### LÁSER DE HE-NE

El láser de He-Ne procede de la mezcla de ambos gases, luego el sistema de producción es por la metodología de cañón con tubo de gas. Emerge en forma de haz paralelo, colimado y muy fino, sin pérdida de potencia con la distancia. Se emite en la banda del rojo con longitud de onda que ronda los 633 nm (632,8). Es de emisión continua y la potencia emitida es la eficaz (puede hacerse pulsado). Sus potencias son muy bajas (habitual 15, 17, 20 mW, como mucho 50 mW) y requiere de sesiones muy prolongadas, a no ser que se aplique en puntos aislados o barridos de puntos.

Sus efectos se apoyan en transformaciones bioquímicas y síntesis de aminoácidos y cadenas proteínicas, en las que se requiere el aporte de luz visible (el rojo en este caso, que no las típicas de ultravioletas).

### LÁSER DE CO<sub>2</sub>

El láser de CO<sub>2</sub> procede de la mezcla de ambos gases, por lo que el sistema de producción es por la metodología de cañón con tubo de gas. Emerge en forma de haz paralelo, colimado y muy fino, sin pérdida de potencia con la distancia. Se emite en la banda de infrarrojos con longitud de onda comprendida entre los 905 y los 1.006 nm. Para su control visible se le superpone otro haz de He-Ne. Es de emisión continua y la potencia emitida es la eficaz (puede hacerse pulsado). Sus potencias son regulables y elevadas, dando lugar a sesiones cortas y con grandes posibilidades de manejo. Para fisioterapia, son buenas potencias de 0,1 a 10 W. Siempre deben aplicarse en barridos de toda una superficie, **pues en un punto quemaría.**

Sus efectos se apoyan en aporte energético que la electroquímica del organismo requiere para acelerar su metabolismo energético y de síntesis.

### LÁSER DE AR-GA

El láser de Ar-Ga procede del paso de energía eléctrica a través de un diodo. Se emite en la banda de infrarrojos con longitud de onda comprendida entre los 780 y 905 nm (aunque se utilizan y fabrican gran variedad). Es de emisión pulsada y la potencia eficaz debe calcularse (no puede hacerse continuo, salvo algunos modelos de diodo). Sus potencias son regulables desde 0,1 a 100 mW, aunque pueden conseguirse algunos vatios (W) con los últimos modelos o con varios diodos agrupados. Se aplican mediante cabezal, punto a punto (para poca potencia) o por cañón con barrido divergente (en los que superan 1 W de potencia eficaz).

Sus efectos se apoyan en aporte energético que la electroquímica del organismo requiere para acelerar su metabolismo energético y de síntesis.

## Parámetros de la terapia láser

Cuando nos hallemos ante un equipo de radiación láser y un paciente, nos plantearemos los objetivos pretendidos y cómo conseguirlos. A tal fin, consideraremos una serie de parámetros y circunstancias, tales como:

- dosis que se desea aplicar;
- datos aportados por el fabricante;
- concepto de potencia;
- cálculo de la dosis deseada (formulación);
- cálculo de la potencia media en pulsátil;
- concepto de energía;
- tipo de láser a utilizar para cada patología.

## DOSIS O DENSIDAD DE ENERGÍA

Es fundamental que cualquier técnico, en estas terapias, tenga claro el concepto de *dosis* o *densidad de energía*.

Irradiar el organismo vivo con luz no es otra cosa que aportar energía; y esa energía debe ser medida y calibrada con el fin de no saturar al medio vivo o que, por el contrario, resulte insuficiente. Tanto si depositamos la energía láser en puntos como si la depositamos en barridos más o menos extensos, lo importante es que cada grupo celular reciba la energía pretendida aunque cambien el barrido, la potencia, la energía deseada, etcétera.

Comparando con un ejemplo de la vida cotidiana, podemos trasladarnos a un día de lluvia con un fuerte chaparrón, donde pueden producirse avenidas, a pesar de que la medición en **litros por metro cuadrado** resultase más baja de lo que pareciera.

Por otra parte, tenemos días de lluvia suave y constante donde no aparecen problemas de inundaciones. Sin embargo, los **litros recogidos por metro cuadrado** fueron bastante más de lo esperado.

Vemos que lo importante es la densidad de lluvia, la lluvia en litros por metro cuadrado, que en nuestro láser será la *energía depositada por cada cm<sup>2</sup> de la piel*. El chaparrón fuerte representa **alta potencia** y la llovizna **baja potencia**. Sin embargo, la poca potencia consiguió mejores resultados que la alta, intuyendo que la clave se encuentra en el *tiempo*.

De los tres focos de la figura XVII. 33, cada uno aporta distintas potencias, pero todos pueden depositar la misma energía siempre que se les mantenga el tiempo adecuado.

Luego, si aplicamos una potencia durante un determinado tiempo, realizamos un trabajo ( $W \cdot t = J$ ). Si dicho trabajo se reparte entre los centímetros cuadrados de la superficie, realizamos un trabajo por cada  $\text{cm}^2$  ( $J/\text{cm}^2$ ).

Si la energía aplicada es excesiva, agredirá a la materia viva (láser quirúrgico). Por el contrario, si la energía es insuficiente, no conseguiremos los efectos deseados. Según experiencias, trabajos,

permisividad de distintos países y escuelas para el desarrollo del láser, las cantidades de energía recibidas en cada centímetro cuadrado de tejido vivo oscilan entre 2 y 40 ( $J/\text{cm}^2$ ), aunque para distintos tejidos y diferentes efectos terapéuticos (ver capítulo XVI).

Queda claro pues, que el valor numérico de la dosis para aplicar procede del intelecto del terapeuta y no del equipo de laserterapia, de manera que todos los demás parámetros se tendrán que adecuar, ajustar y modificar para conseguir la dosis deseada.

Consideremos que las dosis recomendables para aplicar tratamientos con láser quedarán establecidas entre:

### 2 y 40 Julios/ $\text{cm}^2$

valores muy discutibles y en constante modificación. Ver capítulo XVI referente a la comparación entre las dosis de láser con infrarrojos convencionales. Para poder calcular la dosis que deseamos aplicar, tendremos en cuenta los datos aportados por el fabricante del aparato.

## DATOS TÉCNICOS APORTADOS POR EL FABRICANTE

Ante un equipo de laserterapia, necesitamos conocer sus características para conseguir una adecuada dosificación. Los mínimos serían:

### En láseres de emisión continua

- Potencia en Vatios (W).
- Divergencia del haz en grados.
- Superficie del haz en  $\text{mm}^2$  o  $\text{cm}^2$ .
- Longitud de onda en nm (nanómetros).
- Color o banda de emisión.

### En láseres de emisión pulsada

- Potencia de pico en  $W_p$ .
- Potencia media o eficaz en  $W_{ef}$  o  $mW_{ef}$ .
- Frecuencia de pulsos en Hz.

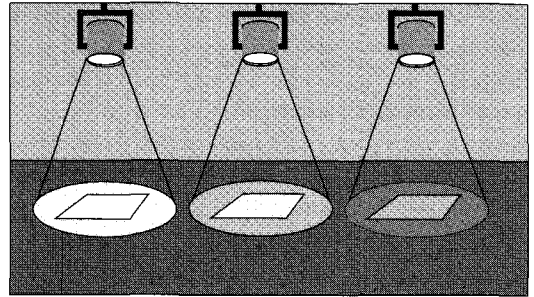


Figura XVII.55.



- Tiempo de duración del pulso en nanosegundos o microsegundos.
- Divergencia del haz en grados.
- Diámetro del haz.
- Longitud de onda.
- Banda de emisión.

## POTENCIA

Dato aportado por el fabricante y nos da información sobre la eficacia o celeridad con que es aportada una energía por el haz de rayos, es decir, la rapidez en depositar un valor X de energía.

Cuando más atrás se hablaba sobre la **ley de la energía recibida/tiempo de aplicación**, se afirmaba que era lo mismo aplicar mucha energía luminosa durante poco tiempo que poca durante mucho tiempo. En realidad, a la hora de aplicar *láser*, cuanto mayor sea la potencia, mayor será el poder de penetración con la misma longitud de onda, pero a distintas longitudes de onda con la misma potencia, penetrará más la de menor longitud de onda. De hecho, la experiencia cotidiana demuestra que las aplicaciones con aparatos potentes son más eficaces que con aparatos de baja potencia. El láser quirúrgico se diferencia del terapéutico o energético porque el primero posee mucha más potencia que el segundo.

Los fabricantes mantienen un constante reto por conseguir equipos con mayores potencias de las antes alcanzadas, para reducir los tiempos de las sesiones y mayor eficacia en los tratamientos.

Los sistemas de láser continuos nos dan la potencia directamente, pero en los pulsados se calculará la media o eficaz según se explica en el siguiente epígrafe.

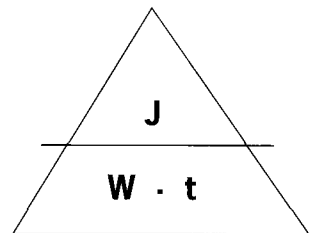
## FORMULACIÓN PARA CALCULAR LA DOSIS Y POTENCIA MEDIA

Aunque se peque de reiterativo, recordemos que el trabajo o, **en nuestro caso, energía aplicada**, se mide en julios (J) y es el producto de la potencia en (W) por el tiempo transcurrido en (sg).

$$J = W \cdot t \text{ de forma que: } 1 J = 1 W \cdot 1 \text{ sg}$$

Esta fórmula será la llave para todas las demás variantes, con el fin de calcular cualquier parámetro que necesitemos al aplicar una sesión de láser con la dosis pretendida.

Los fisioterapeutas y profesionales de la terapia láser suelen apoyarse en las recomendaciones del fabricante, enumeradas en tablas o tiempos recomendados para determinados tratamientos, efectos, etc. (muchas de ellas con graves errores por desconocimientos básicos sobre estos temas). Pero se dan casos en que distintos equipos reco-



mientan diferentes dosis para la misma patología. Ante estas situaciones, cada profesional debe tener claro la dosis que su experiencia le dicte en cada patología ante cualquier equipo independientemente de las recomendaciones. Esta libertad de manejo se la dará el adecuado conocimiento de cómo «conjugar y operar» con los distintos parámetros para obtener los resultados deseados sin temor a cometer errores. Para ello, comencemos paso a paso y con calma hasta fijar conceptos a nivel de aprendizaje práctico, aún a costa de la insistencia.

Practicando:

$$14 \text{ J} = 2 \text{ W} \cdot X \text{ sg}; X = \dots\dots\dots$$

$$25 \text{ J} = 0,5 \text{ W} \cdot X \text{ sg}; X = \dots\dots\dots$$

$$100 \text{ J} = 2.000 \text{ sg} \cdot X \text{ W}; X = \dots\dots\dots$$

$$1.000 \text{ sg} = 3 \text{ W} \dots\dots\dots$$

Hasta aquí, lo expuesto se refiere a la energía aplicada por el equipo en un tiempo determinado, pero ¿cómo repartirla por la zona a tratar?, es decir, si aplicamos 300 J en un punto, dañaremos la superficie de ese punto, y si los mismos 300 J los aplicamos repartidos mediante un barrido sobre una espalda, tal vez, el punto anterior reciba una cantidad escasa de energía (Fig. XVII. 34).

Esto nos lleva a plantearnos y tratar de resolver la forma por la que cada punto reciba la cantidad que pretendemos, es decir, *la dosis* (recordemos los «litros de lluvia por metro cuadrado»).

Así, lo fundamental que debe tenerse en cuenta es la cantidad de energía que recibirá cada unidad de superficie, independientemente del tamaño de la zona, de la potencia de emisión de equipo, que sobrepase o no el barrido de la superficie corporal o de cualquier otro factor.

La cantidad de energía aportada a cada unidad de superficie (el  $\text{cm}^2$ ) estará decidida por nuestros propósitos de tratamiento (más arriba decíamos que las dosis pueden establecerse entre 2 a  $40 \text{ J}/\text{cm}^2$ ). Ante lo expuesto, recurriremos a las adecuadas fórmulas matemáticas para calcularlo.

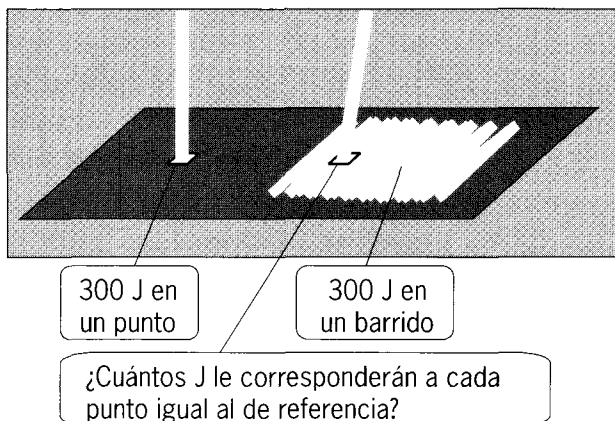


Figura XVII.54.

¿Cómo hallaríamos la dosis que recibe cada  $\text{cm}^2$  en una determinada aplicación?

Veamos:

Si hemos practicado una aplicación con un equipo de He-Ne de 7 mW, durante 2.500 sg, en un barrido de  $10 \cdot 10 \text{ cm}$ . ¿Cuál será la dosis que recibe cada  $\text{cm}^2$ ?

$$7 \text{ mW} = 0,007 \text{ W}$$

$$2.500 \text{ sg}$$

$$10 \cdot 10 = 100 \text{ cm}^2$$

$$J_t = W \cdot t$$

$$J_t = 0,007 \cdot 2.500 = 17,5 \text{ J totales}$$

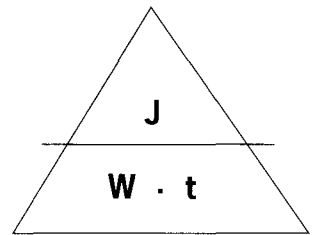
$$\frac{17,5 \text{ J}_t}{100 \text{ cm}^2} = 0,175 \text{ J/cm}^2$$

¿Cómo serían dos procedimientos para calcular los **julios totales** emitidos durante una sesión?

$$1. J_t = W \cdot t.$$

$$2. J_t = (\text{J/cm}^2) \cdot (\text{Superficie en cm}^2).$$

El segundo procedimiento no debemos olvidarlo, ya que será utilizado en su momento para sustituir a la expresión **julios totales**.



En la ecuación encontramos tres variables (W) (J) y (t). La (W) nos viene dada por la potencia elegida desde el inicio de la sesión y se mantiene como valor inamovible. El (J) será un producto dependiente del tiempo y por la vía de cálculo propuesta no es útil como tal. El (t) en segundos será la única variable que pueda cambiar durante la sesión; luego la consideraremos como incógnita, dando la ecuación:

$$t = \frac{J}{W}$$

Además, tenemos que incluir como variables la **superficie del barrido** ( $S \text{ en cm}^2$ ) y la **dosis** ( $J \text{ en cada cm}^2$ ). Para integrar ambas variables en la ecuación, lo haremos sustituyendo el trabajo total realizado durante toda la sesión ( $J_t$ ) por el producto de  $(S/\text{cm}^2) \cdot (J/\text{cm}^2)$ . Quedando:

$$t = \frac{(J/\text{cm}^2) \cdot (S/\text{cm}^2)}{W}$$

Para que esta fórmula sea la definitiva, únicamente, nos resta considerar la posibilidad de que la potencia sea calculada previamente como eficaz o media ( $W_{ef}$ ), si el sistema aplicado es pulsado mediante la fórmula:

$$W_{ef} = W_p \cdot t_{pul} \text{ FHz}$$

Es decir, potencia eficaz es igual a potencia de pico o de pulso por el tiempo de cada pulso (expresado en segundos) por la frecuencia de los pulsos en hercios. Finalmente, daremos como fórmula definitiva esta:

$$t_{sg} = \frac{(J/cm^2) \cdot (S/cm^2)}{W_{ef}}$$

Enunciándola como: *el tiempo (en segundos) que dura una sesión es igual a la dosis por la superficie irradiada partido por la potencia eficaz* (que, en aplicaciones de continuo, la dada coincide con la eficaz).

## Algunos casos

### PRIMER CASO

Queremos hacer una aplicación de 4 J en un punto (sin considerar superficie) con 50 mW: ¿Qué dato nos falta? ...el tiempo ¿Cómo se halla?

$$t = \frac{J}{W} = \frac{4}{0,050} = 80 \text{ sg}$$

### SEGUNDO CASO

Pretendemos una aplicación para bursitis subdeltoidea de 90 J, repartidos entre 6 puntos, distribuidos por la zona de la bursa, con láser de diodo a una potencia eficaz de 1 W: (Fig. XVII. 35)

1. ¿Cuánto tiempo estará funcionando el equipo para liberar los 90 julios?

$$t = \frac{J}{W} = \frac{90}{1} = 90 \text{ sg}$$

2. ¿Cuántos julios le corresponderá a cada punto?

$$J_{\text{punto}} = \frac{J_t}{n. \text{ de p.}} = \frac{90}{6} = 15 \text{ julios por cada punto}$$

3. ¿Cuánto tiempo en cada punto?

$$t_{\text{punto}} = \frac{\text{dosis}}{\text{potencia}} = \frac{90}{6} = 15 \text{ sg por cada punto}$$

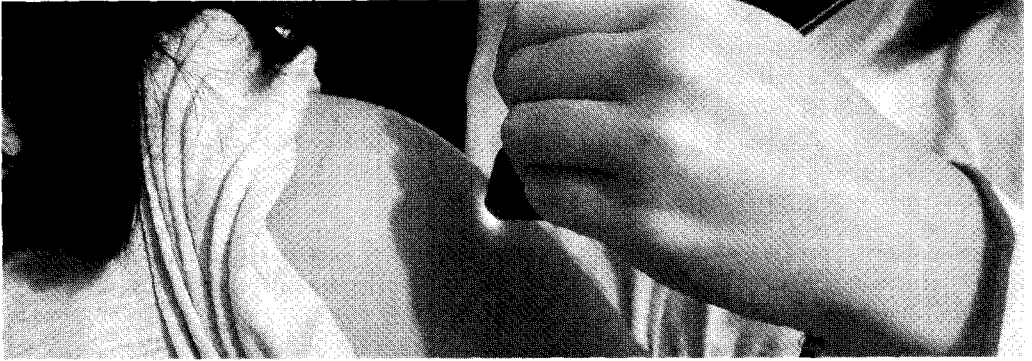


Figura XVII.55.

### TERCER CASO

Para una miositis en el grupo muscular de los epicondíleos, aplicamos láser de He-Ne en barrido de  $50 \text{ cm}^2$ , con una dosis de  $8 \text{ J/cm}^2$ . El aparato emite  $20 \text{ mW}$  eficaces (Fig. XVII. 36).

1. ¿Cuántos son los J totales?
2. ¿Cuál es el tiempo total?

#### 1. Julios totales

$J_t = W \cdot t$ ; pero como nos falta el tiempo, buscaremos otro camino:

$$J_t = \text{J/cm}^2 \cdot \text{S/cm}^2 = 8 \cdot 50 = 400 \text{ J}_t$$

#### 2. Tiempo total

$$t = \frac{J_t}{W} = \frac{400}{0,020} = 20.000 \text{ sg}$$

Pero supongamos que todavía no hemos hallado los julios totales y necesitamos encontrar el resultado sin este dato:

Disponemos de la fórmula:  $t = \frac{J_t}{W}$

Tenemos dos incógnitas (el tiempo y los julios totales), pero un sólo dato (potencia de  $0,020 \text{ W}$ ), con lo que no podemos operar a no ser que sustituyamos alguno de ellos por otra expresión matemática equivalente. Analizando la situación, llegamos a la conclusión de que la variable destinada a sustituir son los  $J_t$ , de manera que:

$J_t = \text{J/cm}^2 \cdot \text{S/cm}^2$ ; en consecuencia:

$$t = \frac{J_t}{W} = \frac{(\text{J/cm}^2 \cdot \text{S/cm}^2)}{W} = \frac{8 \cdot 50}{0,020} = 20.000 \text{ sg}$$

$$20.000/60 = 333,3 \text{ minutos}$$

$$333,3/60 = 5,55 \text{ horas}$$

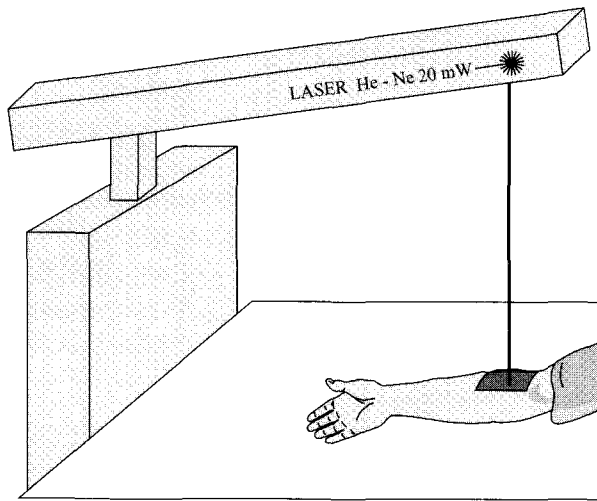


Figura XVII.56.

**Curioso, pero real. ¿Quién aplica las casi seis horas? ¿Será buena la dosis aplicada con los «veinte minutitos»?**

**Esta fórmula tendremos que tomarla muy en cuenta y guardarla en nuestra memoria, ya que será la más utilizada en la práctica de la terapia láser siempre que trabajemos con barridos. Cuando trabajemos con equipos nuevos o desconocidos, debemos contrastar su programación con los datos aportados por el fabricante y esta fórmula (en algunos, nos llevaremos sorpresas).**

### **Frecuencia del pulsado**

Dependiendo de la tecnología constructiva, unos equipos láser con diodo ofrecen una gama de frecuencias y otros, otra. Todo obedece a evitar el calentamiento del diodo excesivamente y su consiguiente destrucción. Influyen el tiempo del pulso, la potencia del pulso, el sistema de refrigeración, las tolerancias constructivas, etcétera.

Lógicamente, cuanto mayor sea la frecuencia, mayor será la potencia media o eficaz; y el único efecto que tiene la frecuencia sobre el paciente se basa en conseguir que el suministro de energía resulte más o menos rápido. Lo mismo podemos decir de las diferentes potencias de pico o las anchuras de pulso (aunque el pulso normalmente no es variable).

Es falso el concepto de «frecuencia alta para casos crónicos y baja para agudos». Pues la frecuencia como tal no influye, pero sí podemos decir que potencia eficaz alta, es decir, suministro rápido de energía, se debe aplicar en procesos crónicos. En los agudos, es conveniente que el suministro energético sea lento (con frecuencias bajas o potencia de pico baja). En muchos procesos agudos no está indicado el aporte energético, pero sí su absorción por aplicación de frío.

## CUARTO CASO

Queremos aplicar 4 J con láser de diodo sobre un punto doloroso aparecido en un músculo escaleno con un equipo que nos ofrece (Fig. XVII. 37):

- 20 W<sub>pico</sub>;
- 200 ns de impulso;
- 1.000 Hz.

Partamos de la fórmula madre del láser que dice:  $J = W \cdot t$

- (t) necesitamos hallarlo, luego es una incógnita;
- (J) sabemos que han de ser 4;
- (W) necesitamos la eficaz y no la de pico.

Para saber la potencia media, debemos formular como sigue:

$$W_{\text{media}} = W_{\text{pico}} \cdot t_{\text{impulso}} \cdot F_{\text{Hz}}$$

Ya disponemos de todos los datos necesarios para calcular el tiempo que va a durar la sesión con la siguiente fórmula:

$$t = \frac{J_i}{W_{\text{pico}} \cdot t_{\text{impulso}} \cdot F_{\text{Hz}}} = \frac{4}{20 \cdot 0,000000200 \cdot 1.000} = \frac{4}{0,004} = 1.000 \text{ sg}$$

alrededor de 16,6 minutos.

Tiempo necesario para aplicar 4 J sobre un punto, sin tener en cuenta otros factores de pérdidas por ángulos de divergencia o en posibles fibras y sistemas ópticos.

*Es importante considerar en este tipo de aplicaciones manuales y puntuales el siguiente fenómeno: muchos de los puntos dolorosos musculares coinciden con los puntos gatillo, que si son tratados con una presión mantenida según la técnica de Jons, el dolor, la contractura muscular y posibles compresiones radiculares desaparecerán. Entonces, ¿qué ha conseguido la remisión de la sintomatología, la presión mantenida del cabezal o la energía láser aplicada?*

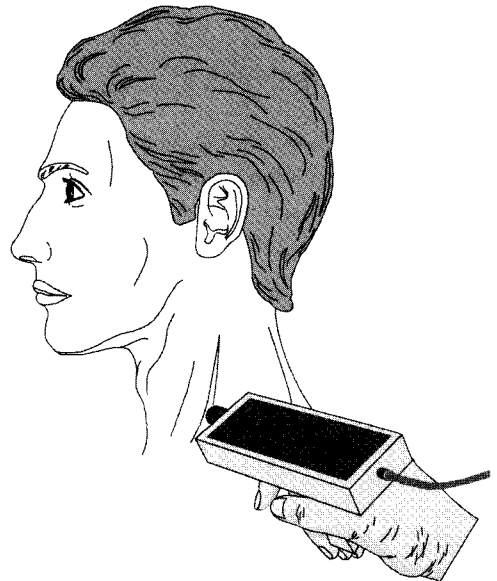


Figura XVII.57.

## QUINTO CASO

Sobre una condropatía rotuliana aplicamos 15 J/cm<sup>2</sup> con un láser divergente de diodo

que irradia 100 W de pico y cuyo tiempo de impulso es de 200 ns con 5.000 Hz sobre la base de un cono cuya superficie es de 50 cm<sup>2</sup> (Fig. XVII. 38).

¿Cuánto tiempo necesitamos para la sesión?

¿Cómo sería la formula aplicada?

$$t = \frac{J_t}{W_p \cdot t_{imp} \cdot F_{Hz}} = \frac{(J/cm^2 \cdot S/cm^2)}{W_p \cdot t_{imp} \cdot F_{Hz}} = \frac{15 \cdot 50}{100 \cdot 0,000000200 \cdot 5.000} = \frac{750}{0,1} = 7.500 \text{ sg}$$

$$7.500/60 = 125 \text{ minutos}$$

$$125/60 = 2,08 \text{ horas}$$

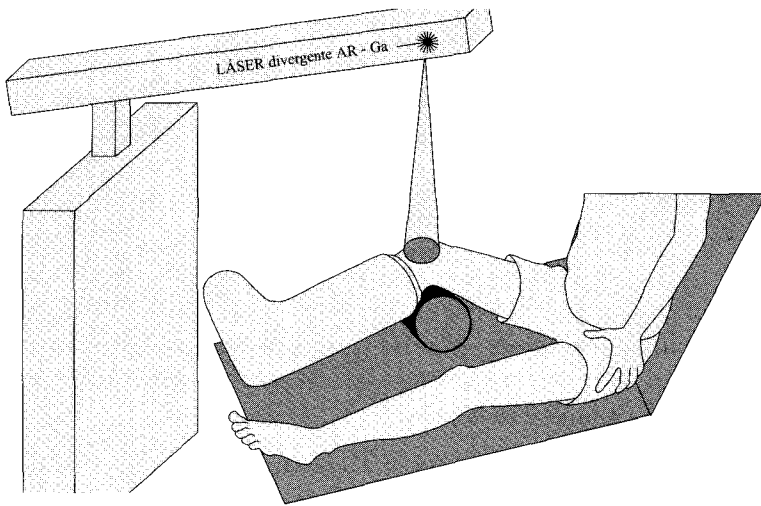


Figura XVII.58.

Este ejemplo es real y cotidiano, pues 15 J/cm<sup>2</sup> es una dosis de uso habitual, ante lo que cabe preguntarse: *¿realmente se aplican en los gabinetes las más de 2 horas correspondientes en cada sesión? Aquí puede estar la razón del fracaso de esta terapia y, para los detractores, el alimento del derrotismo.*

## SEXTO CASO

Aplicamos en 4 puntos a lo largo de un proceso de tendinitis en el tendón del tibial posterior; láser puntual con 5 W<sub>p</sub>, 350 Hz y 50 microsegundos de impulso, de manera que cada punto reciba 8 J (Fig. XVII. 39).

1. ¿Cuánto tiempo es necesario para cada punto?

$$t = \frac{J}{W_{pico} \cdot t_{impulso} \cdot F_{Hz}} = \frac{8}{5 \cdot 0,000050 \cdot 350} = \frac{8}{0,0875} = 91,42 \text{ sg}$$



Cada 91,42 segundos, aplicaremos 8 J en un punto. Si los multiplicamos por cuatro, tendremos:

2. ¿Cuál es la energía total aplicada?

$$8 \text{ J} \cdot 4 \text{ puntos} = 32 \text{ J}_t$$

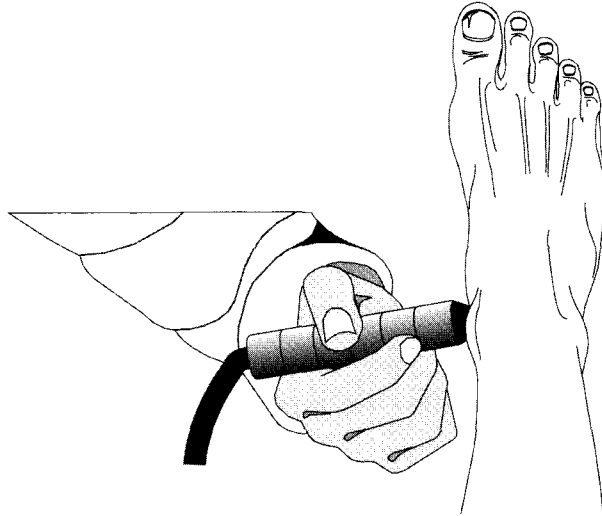


Figura XVII.59.

3. ¿Cuánto tiempo requiere cada julio?

Si en 8 J se emplean 91,42 sg, en 1 J = X

$$1 \cdot 91,42/8 = 11,42 \text{ sg}$$

Otra forma de aplicar el láser con equipo de parámetros fijos y aplicación puntual consiste en calcular el tiempo necesario para 1 J y, este valor, multiplicarlo por el número de julios deseados.

En los tratamientos con láser pulsante, lo primero que nos llama la atención es:

- a) su gran pérdida de potencia;
- b) la potencia media ha de ser calculada previamente;
- c) los tiempos de aplicación pueden resultar excesivamente largos y
- d) que no es práctico usar el láser pulsante de potencia media o eficaz baja para barridos o conos de superficies relativamente grandes, debiendo reservarlo mejor para aplicaciones puntuales.

Por este motivo, siempre aplicaremos el cabezal sobre puntos concretos y evitaremos hacer deslizamientos por la zona. Constantemente se están buscando nuevas soluciones para poderlo aplicar en forma de barrido, bien con varios haces a la vez o bien aumentando la potencia y mejorando la eficacia de los equipos.

### Boquillas de separación

Aprovechando la divergencia del haz, algunos fabricantes incluyen junto con el cabezal dos o tres boquillas para intercambiarlas en la salida del haz, a fin de adaptar la distancia justa para conseguir sobre el paciente superficies de irradiación precisas. Por ejemplo: 0,1 cm<sup>2</sup>, 1 cm<sup>2</sup>, 1,5 cm<sup>2</sup> ó 2 cm<sup>2</sup> (Fig. XVII. 40).

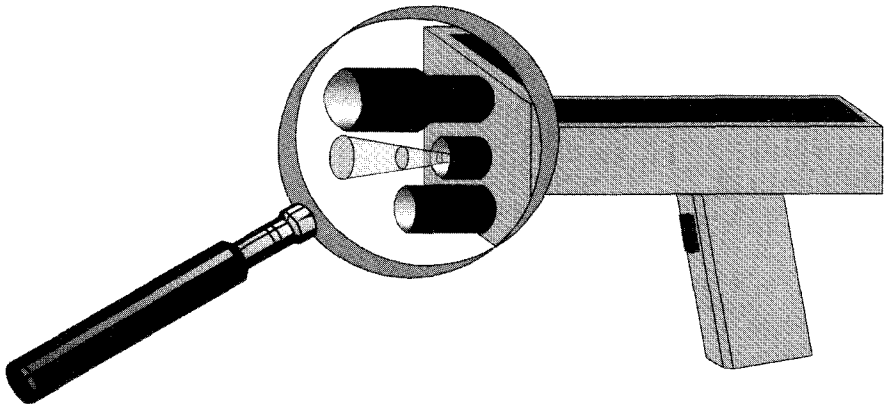


Figura XVII.40.

Es habitual introducir el dato referido en la boquilla encajada sobre la superficie correspondiente para que el equipo realice sus cálculos sin errores.

### SÉPTIMO CASO

Disponemos de un equipo para emitir láser IR de CO<sub>2</sub>, con potencia regulable y continuo (no pulsado) para tratar una zona (en barrido) de 100 cm<sup>2</sup>, con potencia de 6 W y dosis de 20 J/cm<sup>2</sup> (Fig. XVII. 41).

¿Cuánto tiempo durará la sesión?

$$t = \frac{\text{dosis} \cdot \text{superficie}}{W} = \frac{20 \cdot 100}{6} = 333 \text{ sg}$$

$$333 \text{ sg}/60 = 5,5 \text{ minutos}$$

Llama claramente la atención que, aunque la dosis es elevada y la superficie importante, el tiempo de 5,5 min. resulta muy moderado debido a la potencia de 6 W reales y continuos. El láser de CO<sub>2</sub> es la alternativa realmente eficaz y definitiva para evitar mala práctica y tratamientos engañosos.

Los modernos sistemas de barridos o en cono divergente con diodos muy potentes pueden también utilizarse como sustituto del CO<sub>2</sub>.

Entre el infrarrojo de los diodos y el infrarrojo del CO<sub>2</sub> no se aclara nada en la literatura al respecto de su mejor indicación, con lo cual también pueden sustituirse ambos por lám-

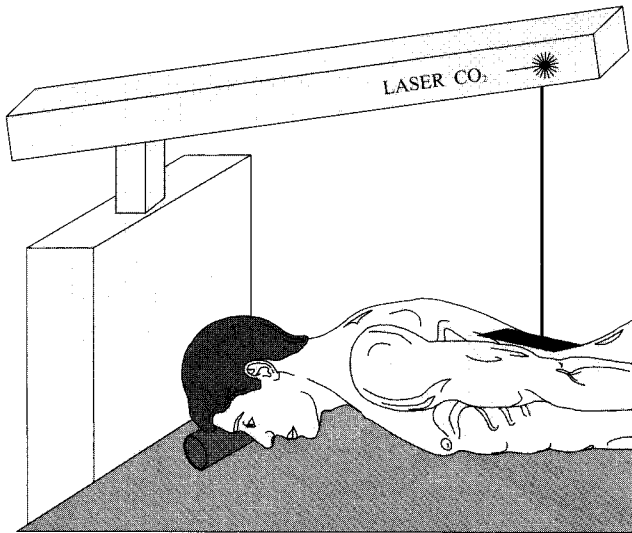


Figura XVII.41.

para estándar de infrarrojos, las cuales resultan tan potentes como el láser de  $\text{CO}_2$  (ver capítulo XVI).

## Equipos de láser

Dado que existen dos sistemas distintos: uno para *barridos o conos divergentes* donde se regula la superficie y otro *puntual* en el que la superficie se toma como un valor prefijado, la forma y regulación de parámetros suele ser algo distinta aunque muy parecida. Vamos a representar *un posible cuadro de mandos* de ambos sistemas con las condiciones y parámetros mínimos de ajuste para que los equipos puedan hacer sus cálculos y establecer la duración de la sesión.

### LÁSER PUNTUAL

Si dividimos el frontal en dos sectores (**superior e inferior**), en el superior, de izquierda a derecha, encontramos displays numéricos que expresan valores modificables con dos teclas (una para aumentar y la otra para disminuir). Los dos últimos displays de la derecha no poseen teclas, pues son valores calculados y presentados por el equipo después de realizar sus cálculos. En la banda inferior, encontramos la regulación para número de puntos, indicación de número de puntos que restan según avanza la sesión y tiempo en cuenta atrás hasta alcanzar el cero. Asimismo, vemos el detector y medidor de la potencia de salida, las teclas de reinicio de datos, inicio de sesión y parada voluntaria de la sesión. Vayamos por partes (Fig. XVII. 42):

- 1) Ajuste de dosis. Parámetro fundamental que se debe introducir, el cual dependerá de las pretensiones terapéuticas.

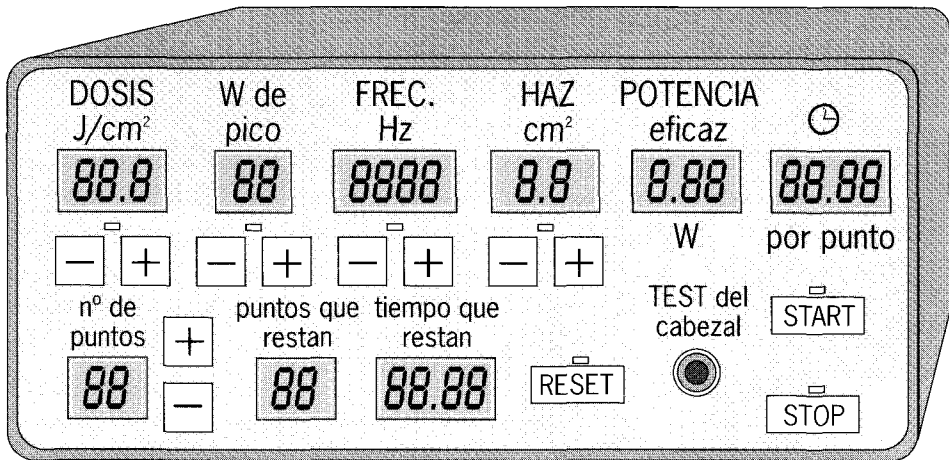


Figura XVII.42.

- 2) Ajuste de potencia de pico. Dependiendo de las características de fábrica, normalmente, se disponen de varias posibilidades. Cuanto mayor sea el valor, más corta será la sesión y menor será la vida media del diodo.
- 3) Ajuste de frecuencia. Según el fabricante, unos trabajan con frecuencias relativamente bajas y otros alcanzan valores distintos. Este parámetro obedece a características constructivas. A mayor frecuencia, menor será el tiempo de sesión y menor la vida media del diodo.
- 4) Ajuste de la superficie irradiada por el haz. También, según el modelo y fabricante, podemos disponer de una única superficie (entonces este ajuste no existirá) o varios valores según las boquillas de intercambio. Este valor es fundamental para que el aparato calcule bien las condiciones de la sesión. Otros equipos piden la distancia entre el cabezal y la piel para calcular la superficie, según sus grados de divergencia. A mayor superficie, más prolongada resultará la sesión.
- 5) Información de la potencia eficaz. Después de haber ajustado y modificado los parámetros, el equipo calcula la potencia eficaz y nos la presenta. Cuanto mayor sea este valor, menos tiempo de la sesión y menor la vida media del diodo. **Es conveniente no abusar de ajustes al límite superior, pues el agotamiento del diodo se acelera.**
- 6) Tiempo para una aplicación o punto. En principio, el equipo debe indicar el tiempo de acuerdo con una aplicación, después se le añadirá el número de veces que se desean repetir.
- 7) Número de puntos. Debemos indicar al equipo el número de veces que deseamos repetir la aplicación calculada y que el aparato las controle hasta finalizar, pues la memoria del terapeuta, cuando está pendiente de otras cuestiones, puede flaquear.
- 8) Tiempo total. El equipo calculará el tiempo que tardará en aplicar todos los puntos y hará una cuenta atrás hasta alcanzar el cero y finalizar el tratamiento completo automáticamente.

- 9) Tecla de RESET o reinicio de parámetros. Si apreciamos errores o cambios de opinión en los ajustes, así como retocar un tratamiento sobre lo programado, es conveniente disponer de una tecla (aunque no necesaria) para reiniciar todo y volver a empezar.
- 10) Tecla START o inicio del tratamiento. Esta tecla debe estar repetida en el cabezal para iniciar la sesión desde el mismo. También servirá para comenzar el tiempo de cada punto.
- 11) Tecla de STOP. Lógicamente, al pulsar esta tecla, se detendrá la sesión y su tiempo, que continuarán al pulsar de nuevo START. Esta función también puede añadirse al cabezal.
- 12) Detector de la potencia real en la salida. Los diodos emisores sufren agotamiento y pérdidas en sus características con el uso (*aunque depende mucho de la construcción y márgenes de calidad electrónica*). *Es básico que sepamos la eficacia o nivel de pérdidas en la emisión para que los tratamientos sean ajustados a la dosis pretendida, a la vez que el tiempo pasa sobre el equipo. Pues, si aplicamos dosis teóricas con caídas en la potencia sin saberlo, el tratamiento se convertirá en un fraude.*

Algunos equipos disponen de detectores solamente para saber si el diodo emite o no emite, pero no es suficiente. *Es necesario someter el equipo a un test de potencia en la salida para que se reajuste en sus cálculos, partiendo de los nuevos valores leídos en el detector.*

*Este sistema encarecerá el equipo de láser, pero todo aparato para láser de diodo que no lo contemple, debería estar fuera de norma.*

## LÁSER DE CAÑÓN

Como ejemplo característico, tomaremos un láser de CO<sub>2</sub>, pues los sistemas de He-Ne, en tanto no se resuelva su insuficiencia en la potencia, no merecen atención.

Si observamos la figura XVII. 43, encontramos los sistemas de control en el panel de manejo repartidos en dos sectores: el **superior** y el **inferior**. En el superior podemos regular la dosis, la potencia, la superficie del barrido nos indicará el tiempo de la sesión y su puesta en marcha o parada a voluntad. En la banda inferior hallaremos la localización del barrido, la velocidad del barrido, los ajustes de tamaño del barrido e información que el equipo aporta sobre su buen funcionamiento. Veamos:

- 1) Ajuste de la dosis. Mediante las dos teclas inferiores podemos aumentar o disminuir los valores que deseemos de acuerdo a la terapia tratada.
- 2) Ajuste de potencia. Dado que los láseres de CO<sub>2</sub> son ajustables en su potencia, lo haremos para que el paciente sienta un calor moderado (no quemante). En barridos amplios se soportan valores mayores que en barridos pequeños. En barridos de 100 cm<sup>2</sup> pueden servir 5 ó 6 W, aunque depende de la sensibilidad del paciente. No es conveniente aplicar más de 10 W. Estos equipos no requieren de testeo en la salida, pues su medidor de potencia ya es, en sí, el propio y constante testeo. Dado que

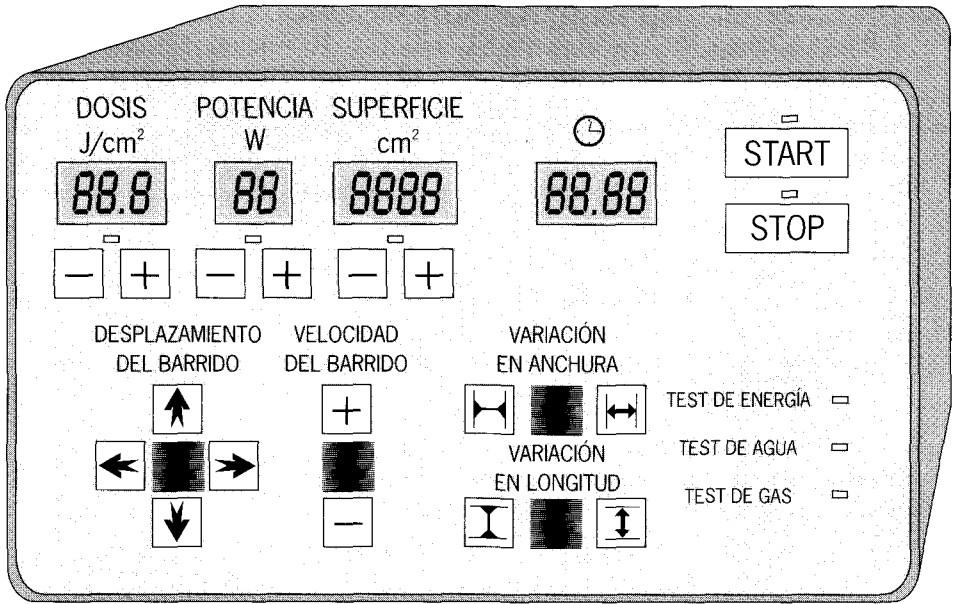


Figura XVII.45.

los fisioterapeutas no buscamos el comportamiento quirúrgico, cuando practiquemos tratamientos con potencias superiores a 1 W, siempre lo haremos mediante conos divergentes, barridos de puntos o barridos de superficies.

3) Superficie de barrido. Es fundamental que el equipo controle este parámetro para sus cálculos y tenemos que introducirlo después de medirlo con una regla graduada en cm. Algunos fabricantes piden la distancia entre el sistema de espejos y la piel para calcular la superficie de acuerdo con el giro de los espejos y la divergencia que generan (Fig. XVII. 44).

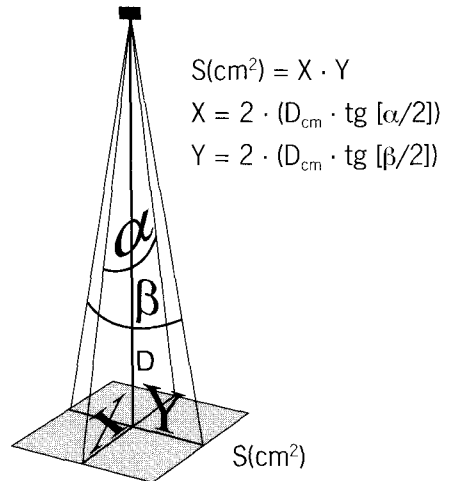


Figura XVII.44.

4) Tiempo de la sesión. Este parámetro lo aporta el equipo de acuerdo con el resultado de sus cálculos. Iniciado el tratamiento, debe hacer un conteo en retroceso hasta llegar a cero y parar automáticamente.

5) Tecla de START o inicio de la sesión. Al pulsarla, comenzará la sesión hasta su parada automática o pulsado de STOP.

6) Tecla de STOP. Si es pulsada durante el tratamiento, éste se detendrá entrando en espera hasta volver a presionar START.

- 7) Desplazamiento completo del barrido. Si pulsamos cualquiera de las teclas que rodean este icono, el barrido se desplaza en el mismo sentido sin que éste cambie de dimensiones. Así, podremos localizar el escaneo sobre la zona tratada con precisión.
- 8) Velocidad de barrido. Es importante disponer de esta opción, pues podemos influir en la sensación térmica del paciente. Cuando el barrido avanza lento, se detecta con intensidad el calor del rayo, pero aumentando la velocidad, dicha sensación queda repartida por toda la zona radiada.
- 9) Cambios en la superficie de barrido. El barrido o escaneo se podrá ampliar y disminuir, tanto en sentido horizontal como vertical. Para ello, si observamos las teclas que acompañan al icono de barrido, se entenderá rápidamente su manejo.

Los barridos serán una línea que se aprecia visualmente como tal (digamos en sentido horizontal) y que se desplazará con mayor o menor rapidez en sentido vertical. Otras formas y dibujos no proceden, pues suelen dejar zonas sin iluminar. El barrido recomendado garantiza que toda la superficie escaneada recibirá un reparto homogéneo de la energía aplicada.

- 10) Información del estado de funcionamiento. Cada fabricante ofrecerá información suficiente como para garantizar el buen uso del equipo, de forma que si faltase gas, éste lo indicaría; si sufre alguna alteración en su funcionamiento, también lo avisaría y bloquearía su servicio.
- 11) Llave de control personalizado. Los sistemas de láser que emitan potencia considerable estarán provistos de su llave interruptor que impida el uso inadecuado a personal no instruido en su manejo y riesgos (Fig. XVII. 45).

### LÁSER DE CONO DIVERGENTE

Este sistema requiere de diodos muy potentes o un conjunto de diodos que, sumando sus potencias, se alcance desde 1 a 10 vatios eficaces ( $W_{ef}$ ). También se incluirá el correspondiente sistema óptico para colimar dicha energía en determinados grados (bien como divergencia fija o variable).

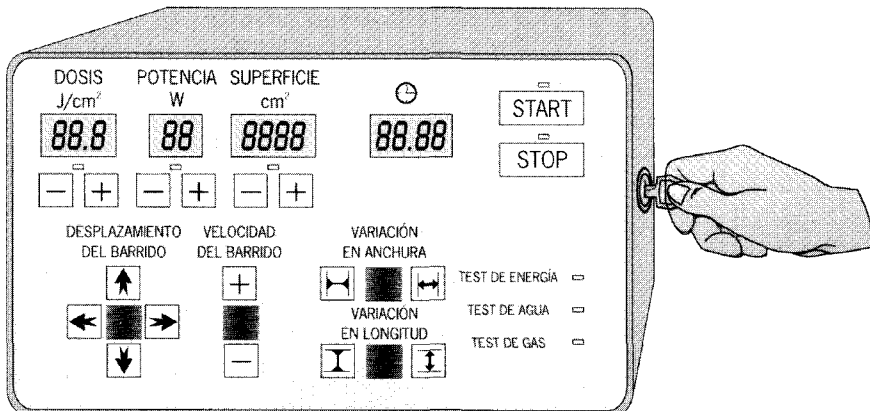


Figura XVII.45.

Un posible cuadro de mandos para controlar un cañón semejante al de láser de  $\text{CO}_2$  podría ser el de la figura XVII. 46:

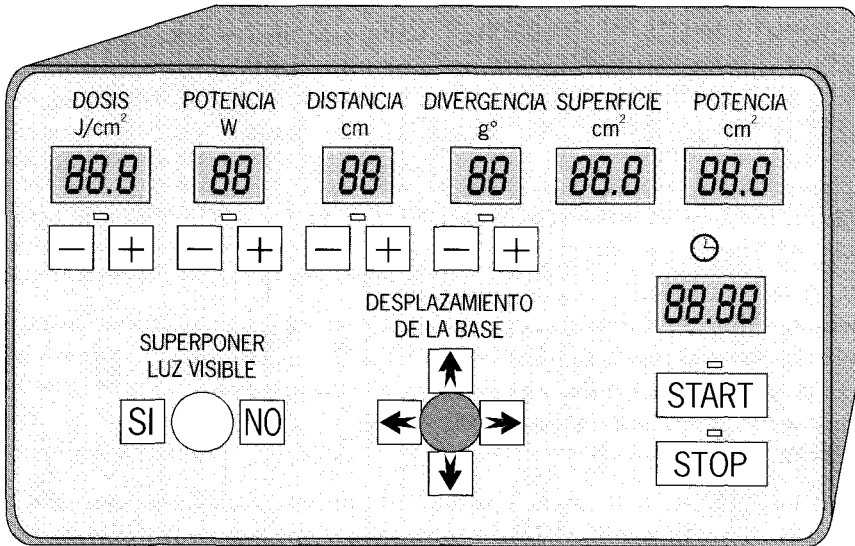


Figura XVII.46.

- 1) Ajuste de la dosis. Mediante las dos teclas inferiores, podemos aumentar o disminuir los valores que deseemos de acuerdo a la terapia tratada.
- 2) Ajuste de potencia. Dado que los diodos emiten energía según el suministro eléctrico (ajustados en voltaje e intensidad) es posible regular la potencia entre un mínimo y un máximo en determinada gama de valores establecidos desde fábrica, según las posibilidades del sistema. La potencia ajustada provocará en el paciente un calor moderado (no quemante). Si la base del cono es amplia, se soportarán valores mayores que en bases pequeñas y cercanas al cañón. No es conveniente aplicar más de 10 W. Estos equipos requieren de testeo en la salida, pues los diodos sufren envejecimiento.
- 3) Distancia. Este parámetro es fundamental que el equipo controle para sus cálculos y tenemos que introducirlo después de medirlo con una regla graduada en cm. Este dato sirve para calcular la superficie y la potencia recibida en cada  $\text{cm}^2$  de la piel.
- 4) Divergencia. Según la fabricación, estos equipos pueden disponer de un sistema óptico fijo, permitiendo una divergencia única o un sistema óptico móvil que admita ciertos límites en la variación de sus grados de divergencia. Si fuera posible, con las teclas de más y menos, se ajustarían las distintas divergencias para conseguir bases del cono de distinto tamaño. A mayor divergencia, menor densidad de potencia recibida por unidad de superficie.
- 5) Superficie. Valor que presenta el equipo después de calcularlo partiendo de los valores anteriores. Es importante disponer de esta opción para poder contrastarla de forma manual, es decir, medir sobre el paciente y a una determinada distancia (Fig. XVII. 47).



- 6) Potencia teórica que recibe el paciente en cada  $\text{cm}^2$  de la piel. El equipo calcula y presenta la potencia que en teoría recibe el paciente por cada  $\text{cm}^2$ , partiendo de la potencia total emitida repartida entre la superficie en  $\text{cm}^2$ , de la superficie, de la divergencia y de la altura o distancia entre el foco y la piel. Basándose en esta información, podemos calcular manualmente la dosis.
- 7) Tiempo de la sesión. El tiempo es calculado por el aparato y presentado en el display. Desde el inicio de la sesión, el conteo será regresivo segundo a segundo hasta alcanzar el 00:00, momento en que se activará automáticamente el STOP.

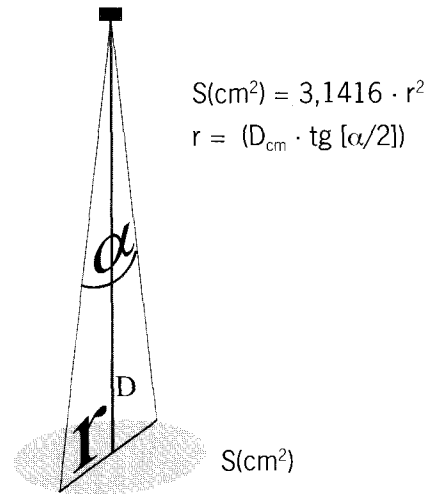


Figura XVII.47.

- 8) Tecla de START o inicio de la sesión. Al pulsarla, comenzará la sesión hasta su parada automática al final del tiempo o pulsado de la tecla STOP.
- 9) Tecla de STOP. Si es pulsada durante el tratamiento, éste se detendrá, cortará la emisión y entrará en espera hasta volver a presionar START y continuar con los valores de parada.
- 10) Desplazamiento completo de la base cónica. Si pulsamos cualquiera de las teclas que rodean este círculo, todo él se desplazará en el mismo sentido sin que éste cambie de dimensiones. Así podremos localizar el foco sobre la zona tratada con precisión.
- 11) Proyección de luz visible superpuesta al foco de infrarrojos. Para dirigir donde se recibirá la irradiación y la zona cubierta, podemos activar un sistema de proyección en luz visible. Este sistema puede activarse momentáneamente o mantenerlo fijo durante la sesión. Si la luz visible es intensa y coincide con los infrarrojos, puede interferir en éstos.
- 12) Llave de control personalizado. Los sistemas de láser que emitan potencia considerable estarán provistos de su llave interruptor que impida el uso inadecuado a personal no instruido en su manejo y riesgos (Fig. XVII. 45).

## Efectos del láser

Al bombardear los tejidos vivos con energía en forma de radiofrecuencia en infrarrojos, provocamos un aumento de la energía propia del organismo, semejante al calor procedente del metabolismo energético. El calor es necesario para la síntesis de proteínas, trasvases iónicos y generación de nuevas moléculas destinadas a la reconstrucción orgánica o aporte energético.

Visto con más detalle, la aplicación de infrarrojos (calor) *favorecerá fundamentalmente al ambiente intercelular* para que sus iones se desplacen con fluidez y se faciliten los intercambios osmóticos pasivos a través de la membrana celular.

Pero, ante las patologías, es fundamental la ayuda energética para *facilitar los intercambios asistidos y activos entre célula y su ambiente extracelular*, con iones como: sodio, potasio, calcio, hierro, hidrógeno, cloruro, yoduro, urato, diferentes azúcares y aminoácidos. Dado que todos ellos son trasportados o intercambiados en la célula de forma asistida o activa, siempre se requiere energía en forma de calor.

Para conseguir concentrar 10 veces un osmol de una sustancia en contra de su gradiente, son necesarias 1.400 calorías, lo cual indica el gran consumo energético que se requiere para nutrir o eliminar desechos de forma activa en el intercambio celular.

Por otra parte, la propia bomba de sodio-potasio se basa en la proteína ATPasa como motor energético, es decir, cuando se requiere energía, el ATP (adenosín trifosfato) libera un fosfato y calor, pero para reconstruirlo, el ADP (adenosín difosfato) se recompone en ATP (trifosfato) adquiriendo el tercer fosfato con aporte energético, que en casos de deficiencias metabólicas está escaso y la administración mediante láser resuelve el déficit.

### SÍMIL MECÁNICO DE LA BOMBA $\text{Na}^+\text{-K}^+$

Si analizamos la figura XVII. 48, apreciamos que la proteína de la membrana ATP capta por las antenas energía térmica en un momento de cierto reposo, tiempo suficiente para asociarse con los tres iones de  $\text{Na}^+$  en el exterior y dos de  $\text{K}^+$  en el interior.

En la figura XVII. 49 se libera un fosfato para convertirse en ADP, se desprende energía que provoca el paso activo (giro) de los iones antes adosados y, una vez al lado contrario, son liberados.

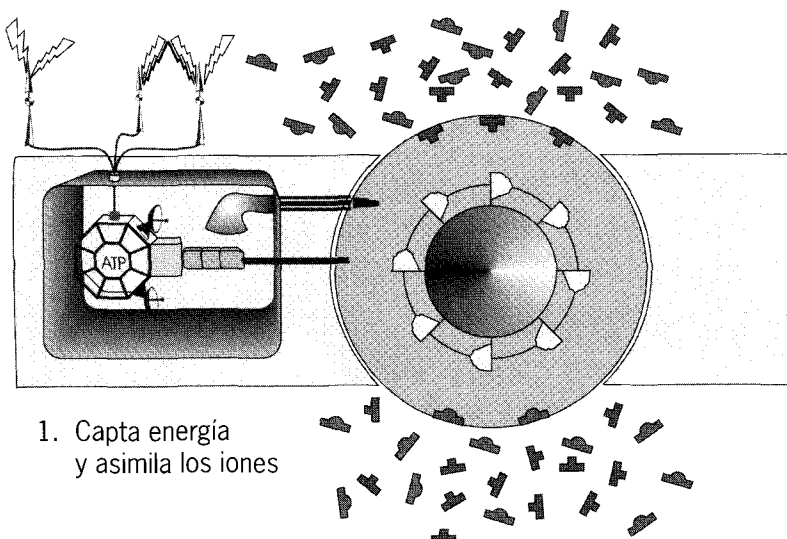


Figura XVII.48.

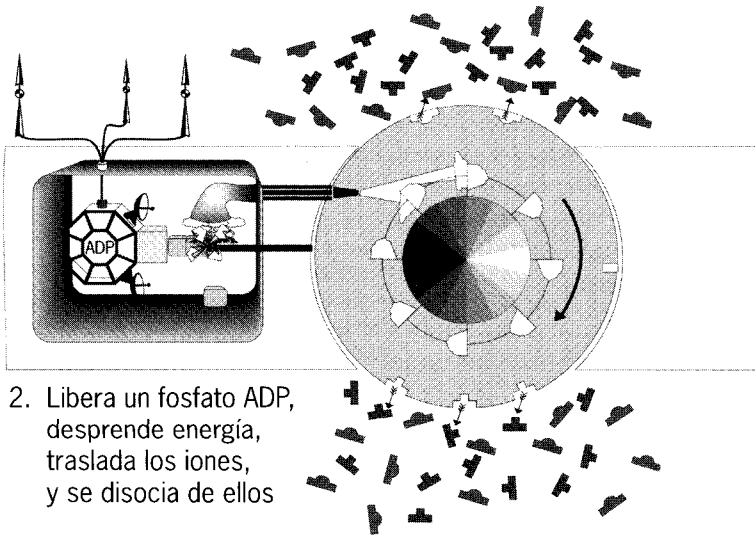


Figura XVII.49.

En la figura XVII. 50 se aplica energía al enlace de los fosfatos para recomponer los tres ATP. Esto bloquea la proteína para esperar el depósito o enlace de los iones. La energía aplicada al enlace del tercer fosfato debe absorberse del medio (captada por las antenas). El ciclo se iniciará de nuevo.

Vemos que todos los iones transportados son positivos, pero existe un desfase de cargas que tiende a desequilibrar el interior del exterior celular, haciendo el interior negativo (Fig. XVII. 51).

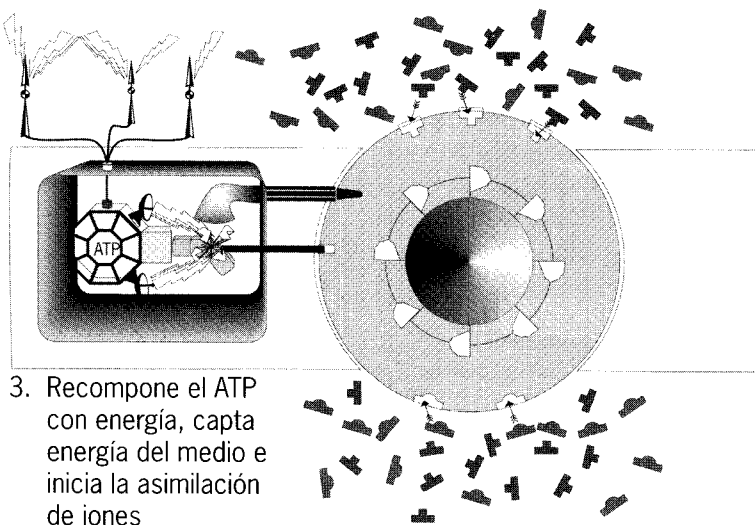


Figura XVII.50.

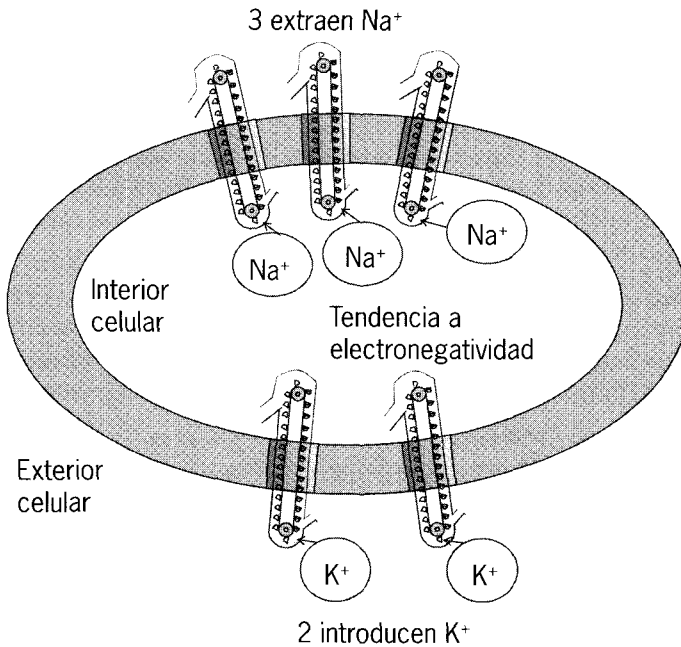


Figura XVII.51.

En caso de fracasar la bomba de sodio-potasio, la célula se hincharía de agua hasta llegar al estallido. Al iniciarse la invasión de agua en el interior, automáticamente se activa la bomba de  $\text{Na}^+\text{-K}^+$ , pero, si no se dispone de suficiente energía térmica, ésta fallará.

También el buen funcionamiento de la bomba de  $\text{Na}^+\text{-K}^+$  genera un buen nivel de polarización en la membrana. Si fracasa, se perderá la polarización celular.

El aporte de calor también contribuirá al adecuado funcionamiento de la bomba de calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ), formada por otra proteína ATPasa específica para el calcio de funcionamiento semejante a la bomba de  $\text{Na}^+\text{-K}^+$ .

Se han llegado a identificar otras **proteínas ATPasa** encargadas del transporte activo de glucosa y aminoácidos, las cuales trabajarán de forma adecuada en ambientes electroquímicos equilibrados y sanos. En cuanto aparezcan síntomas de alteración, pueden verse afectados y el consiguiente aporte energético vía calor resuelve dichos déficit.

**Pero esta energía puede proceder del láser o de otra fuente, aunque no tenga las características propias del láser: compresa caliente, calor solar, manta eléctrica, onda corta o microonda, infrarrojos estándar, etc. (ver capítulo XVI).**

A modo de aprendizaje y observación, es interesante realizar el siguiente **experimento**: ante un paciente con un hematoma extendido a distancia de la lesión, pero con su importante aspecto morado, le aplicamos láser  $\text{CO}_2$  a  $15 \text{ J/cm}^2$  sobre parte de la superficie afectada por la mancha (siempre la misma), para observar como evoluciona el aspecto y rapidez en la absorción con respecto a la zona no tratada.

En general, podríamos decir que *el láser manifiesta efectos terapéuticos en todas aquellas patologías que se deban fundamentalmente a las alteraciones metabólicas por defecto, o requieran aporte energético*, y no están tan claras en patologías con metabolismo exacerbado (inflamación aguda). La práctica cotidiana así lo demuestra.

El *efecto antiinflamatorio* se dará fundamentalmente en procesos cronicados que conllevan éxtasis circulatorio (más linfático que venoso), proliferación de colágeno (colagenosis), acidificación del medio, tendencia al estado de gel en la zona e intoxicación por catabolitos procedentes del metabolismo celular.

El *efecto antiálgico* se producirá, también, en dolores procedentes de la estimulación de los nociceptores químicos (dolores químicos), pero no se da tan claramente en los dolores procedentes de los nociceptores mecánicos (aunque ambos tipos de dolores suelen actuar simultáneamente, influyendo en el componente debido a la alteración bioquímica).

Los *efectos beneficiosos en la cicatrización de úlceras* son claros, aunque si cursan con procesos infecciosos, los resultados se hacen muy variables. En las úlceras se requiere energía para sintetizar la materia estructural, destinada a la cicatriz (energía requerida por las proteínas ATPasa encargadas del transporte de aminoácidos), pero debido al estado de éxtasis circulatorio, el poco aporte de nutrientes, la intoxicación metabólica de la zona, la alteración del pH, el poco movimiento Browniano, etc., fracasará el sistema. Entonces, el suficiente aporte energético en la banda de infrarrojos contribuirá a resolver cada uno de los procesos antes enumerados.

Cuando conozcamos mejor lo que acontece dentro de las mitocondrias celulares, cómo actúan exactamente las proteínas compuerta o ATPasa de las membranas celulares, cuándo y en qué casos activan o inhiben la gran abundancia de neurotransmisores, etc, podremos entender con claridad los efectos positivos y negativos del láser, junto con los de otras aplicaciones electromagnéticas habitualmente usadas por los fisioterapeutas (digamos luz visible o lámpara de infrarrojos).

No conviene olvidar que las hojas de las plantas realizan todos sus procesos de transformación de materias inorgánicas en orgánicas tomando el  $\text{CO}_2$  del aire, el agua y minerales de la tierra para componer las proteínas y demás sustancias necesarias para la estructura y metabolismo de la planta.

Del  $\text{CO}_2$  más  $\text{H}_2\text{O}$ , la hoja sintetiza  $\text{CH}_2\text{O}$  más  $\text{O}_2$ , es decir, toma el anhídrido carbónico más agua para ser transformado en aldehído fórmico más oxígeno en forma de gas. Pero este proceso no es posible realizarlo sin la participación de la luz. El formaldehído es una molécula orgánica básica para otras cadenas proteínicas complejas que permitirán la continuación de la vida vegetal y animal. Pero todos lo procesos de síntesis necesitan energía para su conclusión, energía aportada por las radiaciones infrarrojas y luz.

Cabría preguntarse: ¿si sometiéramos a nuestros pacientes a baños de sol, evolucionarían peor, mejor o sería indiferente?

## Dosis recomendadas

La mayor dificultad se encuentra en establecer la cantidad de energía necesaria y suficiente para favorecer al/los procesos patológicos sin saturar la zona. Por otra parte, es posible que la saturación no implique mayor problema...

La aplicación de termoterapia profunda mediante alta frecuencia de onda corta o microonda consiste en saturar el sistema biológico hasta provocar la defensa de termorregulación. Si esta técnica se considera válida y positiva (contrastada durante muchos años), tampoco será dificultad saturar al organismo con láser.

La aplicación de infrarrojos estándar, de igual forma, busca la saturación de la zona, llegando a aplicarse dosis entre 50 a 100 J/cm<sup>2</sup> y también se considera sobradamente contrastada (ver epígrafe de «Dosis» en el capítulo XVI).

Es muy probable que la saturación sea perfectamente tolerada en patologías con déficit metabólico e, incluso, que la provocación de la termorregulación por vasodilatación favorezca la reaparición de nuevos capilares sanguíneos y linfáticos. Pero en patologías donde la actividad metabólica está exacerbada, como más atrás se dijo, lo indicado es retirar energía mediante frío (ver el epígrafe «Curvas características del comportamiento biológico» en el capítulo VI).

En el láser quirúrgico o el empleado en dermatología para destruir (volatilizar) alteraciones en la piel, es relativamente fácil establecer su dosis, pues trabajamos ante un *feed-back* que conduce a reajustar hasta alcanzar el objetivo sin importar los julios ajustados. Pero el concepto de energía depositada no genera mayor preocupación que la curiosidad científica. En fisioterapia, la respuesta no es tan palpable ni visible, circunstancia que nos obliga a trabajar bajo presupuestos nada claros y sometidos a polémica.

Lo habitual es que estas dudas las intentemos resolver a base de experimentación y tanteo estadístico. Con investigaciones serias a nivel de laboratorio por biofísicos, alcanzamos antes conclusiones más precisas.

No obstante, desde que se inició la terapéutica *láser*, cada casa indicaba con sus equipos dosis para distintas patologías. En sus inicios se recomendaron máximos de 10 a 15 J/cm<sup>2</sup>, pero en la actualidad se llegan a recomendar hasta 30 y 40 J/cm<sup>2</sup>. También es muy frecuente encontrar gran confusión en las tablas indicativas que acompañan a las instrucciones de manejo o programas preestablecidos. Por otra parte, la experiencia cotidiana de profesionales interesados en el tema y dotados de suficiente técnica como para dosificar adecuadamente, sabemos que si no superamos dosis recomendadas como límite, no se conseguirán las respuestas deseadas. **Queda mucho por hacer en cuanto al establecimiento de dosis adecuadas.**

## PROTOCOLO DE DOSIFICACIÓN

Estableceremos, primeramente, las patologías de acuerdo a su profundidad:

- a cielo abierto;
- superficiales (hasta 5 mm);
- profundidad media (entre 5 a 20 mm) y
- profundas (más de 20 mm).

En principio, la potencia regulada debe ser distinta (si el equipo lo permite). **A mayor profundidad, mayor potencia. En los láseres pulsados, para alcanzar profundidad, se regu-**

**lará la potencia de pico muy alta.** Pues no es lo mismo elevar la potencia media con la de pico baja y frecuencia alta, que potencia de pico alta y frecuencia baja. Con la potencia de pico alta se consigue penetración. Con potencia media alta conseguimos un depósito de energía más rápido (volver sobre el ejemplo de la lluvia).

Por otra parte diferenciaremos entre procesos:

- agudos;
- subagudos y
- crónicos.

En patologías agudas no es recomendable aplicar energía, salvo con baja potencia media, donde el depósito energético será poco y muy lento, digamos que de 2 a 6 J/cm<sup>2</sup> con tiempos largos de sesión.

En procesos subagudos, la potencia media se mantendrá en valores medios bajos para evitar el depósito acelerado de energía (a su vez, matizada por la profundidad). La dosis puede elevarse dentro de 4 a 10 J/cm<sup>2</sup>.

En procesos patológicos crónicos, debemos regular potencias elevadas y dosis también altas. Lógicamente, la profundidad influirá en la potencia utilizada. Las dosis pueden calcularse dentro de amplios márgenes de acuerdo a las patologías, sugiriendo alcanzar hasta los 40 J/cm<sup>2</sup> (ver epígrafe de «Dosis» en el capítulo XVI).

Otra clasificación o diferenciación a considerar será el tipo de patología. El láser puede aplicarse en procesos ulcerosos, procesos varicosos, sinovitis, tendinitis, capsulitis, fibromialgia, fibrositis, celulitis y, en general, en toda patología que curse con déficit metabólico y acúmulo de catabolitos donde pretendamos acelerar su trofismo.

## PROCESOS ULCEROSOS

Dado que estas alteraciones se tratan por su lenta evolución cicatricial, el láser favorecerá la regeneración y reproducción celular con más rapidez, permitiendo que todas las bombas de membrana trabajen para sintetizar proteínas, regenerar capilares inactivos y reequilibrado de los ambientes intra y extracelular.

Dado que son lesiones superficiales, no es necesaria mucha potencia. Tampoco la dosis requiere valores altos, digamos que entre 4 y 10 J/cm<sup>2</sup> pueden resultar suficientes. Es interesante matizar o especular sobre determinadas úlceras en las que interese saturar térmicamente la zona para provocar vasodilatación, llegando hasta 10 ó 15 J/cm<sup>2</sup> (pero con láser de CO<sub>2</sub>). La mayor utilidad del láser He-Ne se da en estas patologías.

Si la úlcera está infectada, no debemos aplicar láser porque se favorece la infección. La saturación energética o térmica en úlceras con secuestros, necrosis, con exudado, supurante, debe evitarse o limitarse a dosis bajas.

La modalidad de láser puntual o de diodo se aplicará a distancia sin entrar en contacto directo con la herida para evitar su contaminación. Ello implica conocer la divergencia del

haz y junto con la distancia averiguar la superficie abarcada y su correspondiente reducción en la potencia para calcular de nuevo la dosis.

Si con láser de He-Ne se requieren tiempos tan largos que se ponga en riesgo la contaminación de la úlcera por exceso de exposición al ambiente, se valorará su aplicación.

## VARICES

Se manifiestan en la superficie corporal, por lo que no requieren de gran potencia para conseguir el objetivo de penetrar, pero podemos regularla a valores medios para hacer la sesión más corta, aunque considerando la sensación térmica por si no interesa provocar vasodilatación.

Es muy llamativa la recuperación del tono vascular cuando se aplica láser, consiguiendo que las células epiteliales retomen su función, tersura y tamaño, así como la proliferación del colágeno «a modo de cemento» intercelular. En 4 ó 5 sesiones, se observan reducciones muy llamativas siempre que el sistema de dosificación sea correcto. Son recomendables de 5 a 15 J/cm<sup>2</sup>.

Si la variz ha evolucionado hacia flebitis, tromboflebitis e incluso ulceración, las dosis serán bajas, evitando la saturación energética y vasodilatación. Si el proceso es muy exacerbado, no se aplica este tratamiento.

La modalidad varicosa de hemorroides puede tratarse con resultados buenos, no siendo práctico el uso de láser He-Ne por el gran tiempo de exposición, tampoco el puntual de diodo, pero muy útil el de CO<sub>2</sub> o diodo divergente y potente, ya que en tiempos muy cortos se consiguen dosis reales y adecuadas.

## TENOSINOVITIS

Dependiendo de la profundidad a la que se localice la patología, regularemos los equipos con mayor o menor potencia. En gran número de casos, trataremos las tenosinovitis considerándolas a profundidad media.

Si el proceso es muy agudo, tal vez requiera frío, pero en subagudos y crónicos, el láser está indicado con dosis que pueden oscilar entre 15 y 25 J/cm<sup>2</sup>, e incluso superiores.

Conviene elevar la potencia eficaz para reducir el tiempo de la sesión e, incluso, saturar energéticamente la zona hasta el enrojecimiento de la piel (con láser de CO<sub>2</sub>). Es llamativa la respuesta de reducción dolorosa al final de la sesión cuando la dosis tiende a ser alta. Los efectos antiinflamatorios y de hipersensibilidad dolorosa se manifiestan lentamente al cabo de horas.

Muchas tendinitis se deben a sobrecarga por tensión, contractura de su músculo, por roce o por compresión. Luego, en tanto no se elimine la causa generadora, el tratamiento con láser resultará relativamente efectivo.



## CAPSULITIS Y BURSTITIS

Las dosis dependerán también de su momento en el proceso. Desde subagudos a crónicos podemos considerar como buenas dosis entre 15 y 30 J/cm<sup>2</sup>. En casos crónicos, es interesante saturar la zona.

Tanto las cápsulas como las bursas pueden localizarse a profundidades muy dispares de la piel. Nada tiene que ver la cápsula coxofemoral con la rodilla o con las articulaciones interfalángicas de la mano.

Para tratar una cadera, aplicaremos mucha potencia a fin de intentar que algo de energía alcance dicha cápsula. En caso de duda, o nos conformamos con la energía depositada en los tejidos adyacentes o desistimos del tratamiento. El láser de CO<sub>2</sub> puede resultar quemante para el paciente, pero puede ser más interesante el puntual con sistema de diodo (y potencia de pico alta), eligiendo varios puntos con el cabezal dirigido para que todos converjan en la zona capsular tratada.

A la hora de tratar una rodilla, lógicamente, no debemos forzar la regulación de potencia, y con valores medios será suficiente, salvo que pretendamos una sesión muy corta.

Es habitual que las capsulitis cursen con derrames articulares y busquemos el doble efecto antiinflamatorio de cápsula y sinovial, además de acelerar el proceso de reabsorción del líquido intraarticular. Favoreciendo la función sinovial y manteniendo el líquido fluido con otras técnicas, resultará un tratamiento muy interesante.

De 15 a 30 J/cm<sup>2</sup> suelen resultar adecuados, con barridos que cubran toda la zona y láser de CO<sub>2</sub>. Potencia entre 5 y 8 W según superficie del barrido y sensación térmica del paciente. Los sistemas de diodo puntual, excepto en puntos muy concretos, no ofrecen el mismo rendimiento que el antes mencionado.

## PERIOSTITIS

Normalmente, cursan como procesos insidiosos y de moderada reacción inflamatoria, pero molestos en cuanto al dolor. Las periostitis más claras se localizan en zonas relativamente superficiales y fáciles de alcanzar con la radiación láser. Según esto, con potencias medias conseguimos los objetivos.

En casos agudos, podemos aplicar de 5 a 15 J/cm<sup>2</sup>; en crónicos, de 15 a 30 J/cm<sup>2</sup>, dosis que darán buen resultado con barridos que cubran toda la zona con láser de CO<sub>2</sub>. Potencia entre 4 y 8 W según superficie del barrido. Se busca el efecto antiinflamatorio y regularización del trofismo local.

## ENTESITIS

En las entesitis, dan buen resultado los láseres de diodo puntuales, aunque tal vez parte de sus efectos se deban a la moderada presión realizada con el cabezal sobre la zona en los puntos elegidos como más activos. *Es interesante comprobar resultados practicando la sesión sin irradiar láser.*

Los mejores resultados se consiguen con barridos de  $\text{CO}_2$  y dosis adaptadas a su nivel de inflamación, pero en procesos subagudos y crónicos podemos depositar entre 20 y 40  $\text{J}/\text{cm}^2$ . La potencia dependerá mucho del barrido, pues, dado que las entesitis se localizan en pequeñas superficies, normalmente, se tiende a reducir la superficie del barrido, situación que conduce a reducir de forma importante la potencia para evitar molestias en el paciente. Por otra parte, es importante tener en cuenta la capacidad de penetración en zonas donde pretendamos alcanzar el foco patológico; en estos casos, la profundidad se consigue elevando la potencia.

No es lo mismo una entesitis en el epicóndilo o epitroclea que en la inserción de los paravertebrales en el occipital, o que en el tendón de Aquiles, o un espolón en el calcáneo de la fascia plantar, o los amplios procesos generados en las zonas de inserción de la fascia lumbar sobre la cresta ilíaca. En general, en todos los casos se requiere bastante dosis para favorecer procesos de larga evolución y donde el aumento fibrótico que rodea la zona impide la adecuada nutrición (excepción hecha de los casos agudos).

Los procesos de entesitis persisten en muchas ocasiones por causa de la excesiva tensión mantenida del correspondiente tendón y músculo, por lo que, en tanto se mantenga dicha tensión, no remitirá la entesitis.

## PROCESOS ARTRÍTICOS Y ARTRÓSICOS

En este paquete de patologías debemos cuidar los procesos infecciosos, así como en evolución de brotes donde florece y se acentúa la sintomatología, de forma que, en caso de aplicar láser, se hará de manera prudente y dosis bajas.

Salvando estas circunstancias, los procesos artrósicos son de los más adecuados e indicados para tratar con láser debido a su bajo trofismo, déficit circulatorio por destrucción de pequeños vasos, deshidratación y destrucción de tejidos, degeneración celular, evoluciones negativas con tendencia al bloqueo articular, destrucción de cartílago, inflamación sinovial y persistencia de dolor.

Estas patologías se localizan en diversas articulaciones, por lo que los tratamientos son largos y repetidos en las articulaciones tratadas. Los barridos serán amplios para cubrir perfectamente la articulación y zonas próximas. La potencia debe regularse relativamente alta para penetrar y hacer la sesión corta, pero con cuidado de no generar sensación de calor quemante en el paciente.

La técnica de He-Ne no merece la pena utilizarla, excepto en pequeñas articulaciones y en modo puntual. El sistema de diodo puntual de baja potencia puede dar resultados moderados en articulaciones pequeñas y puntos concretos. Los métodos de diodo divergente y  $\text{CO}_2$  serán los más adecuados.

Las dosis serán altas, aunque matizadas por los brotes de agudeza en los que se moderará; se depositarán dosis que pueden oscilar entre 25 y 40  $\text{J}/\text{cm}^2$ , considerando que no es igual tratar las metacarpofalángicas de una mano que una cadera artrósica. Interesa ver el capítulo XVI sobre infrarrojos y comparación con la técnica de láser.

En ocasiones se deben tratar ganglios neurovegetativos y trayectos de los plexos o raíces nerviosas que inervan la zona, a fin de desencadenar respuestas neurovegetativas tendentes a la reacción trófica.

## FIBROMIALGIA, FIBRONEURALGIA, FASCITIS

En estos procesos más o menos dolorosos de partes blandas, al explorarlos encontramos tejidos fibróticos adheridos a planos más profundos y también al tejido celular subcutáneo. Dentro de la proliferación colagínosa, se depositan y aíslan restos metabólicos en estado de gelatina, los cuales provocan dolor e irritación en la zona.

Los encontramos en situaciones de cronicidad, pero pueden sufrir brotes inflamatorios con dolor y causar incapacidad funcional en los tejidos adheridos (fibromialgia o fibroneuralgia). Si son los paquetes nerviosos los atrapados y comprometidos, se generarán irradiaciones a distancia con los distintos niveles de alteración neurálgica periférica.

El aporte energético en la banda de infrarrojos es muy adecuado e indicado, pues todos los procesos bioquímicos contenidos en la red de fibrina se encuentran muy deficientes, por lo que una buena inyección energética acelera el trofismo. Para conseguir respuesta adecuada ante el tratamiento con láser, previamente, debemos localizar la zona de fibrosis y aplicar láser de  $\text{CO}_2$  en barridos que cubran toda la zona con potencias importantes para penetrar y conseguir sesiones cortas (digamos de 6 a 8 W). Las dosis serán de 30 a 40  $\text{J}/\text{cm}^2$  de acuerdo con la intensidad inflamatoria.

Las aplicaciones con láser puntual de diodo o de He-Ne no resultan prácticas. En el caso del diodo, por el gran número de puntos que se deben aplicar y con el He-Ne, se deposita tan poca energía, que no merece ni intentarlo.

## DESGARROS TISULARES, DERRAMES Y HEMATOMAS

Los desgarros tisulares (tanto musculares como otros) generan rotura de vasos y extravasación de líquidos con su correspondiente acúmulo más o menos difícil de reabsorber.

Interesa, por un lado, acelerar el proceso cicatricial y, por otro, la reabsorción del derrame sanguíneo, linfático o sinovial.

Usando un sistema de  $\text{CO}_2$  o diodo por divergencia en cono, en los procesos agudos y recientes no se deben superar los 20  $\text{J}/\text{cm}^2$  (de 10 a 20  $\text{J}/\text{cm}^2$ ); en los subagudos, una media de 25  $\text{J}/\text{cm}^2$  y en los cronicados podemos alcanzar los 35  $\text{J}/\text{cm}^2$ . Las potencias reguladas deben adecuarse a la penetración pretendida y a la rapidez de la sesión; en procesos agudos e inflamados, pueden aplicarse sesiones largas o con depósito lento (potencias moderadas).

## Contraindicaciones y precauciones

Las contraindicaciones no están claramente establecidas ni definidas, ya que, por el momento, no se conocen todos sus efectos positivos o negativos, lo que nos debe hacer actuar con prudencia y en continua espera de nuevas conclusiones y avances. Esta circunstancia es muy típica de aquellos sistemas que se publicitan (o se publicitaron) cuasi como panacea.

No obstante, estamos hablando de infrarrojos y el organismo está entrenado a recibir constantemente dicha radiación de modo natural, en tal cantidad que la necesitamos para mantenernos vivos. Los rayos solares, los rayos de una lámpara de infrarrojos, los rayos de una fogata, de una estufa, del aire caliente, del agua caliente, de objetos calientes, etc. son orígenes diversos y variados que únicamente se manifiestan como peligrosos cuando la aplicación de energía es demasiado acelerada, causando quemaduras.

Las posibles influencias en los procesos cancerígenos o de mutaciones genéticas deben ser observadas sin excesivo miedo, ya que la banda de infrarrojos todavía permanece, claramente, dentro de las radiaciones no ionizantes, distanciada del inicio de las ionizantes por todo el espectro visible y los ultravioletas de tipo A y B.

Lógicamente, debemos evitar las quemaduras, pero por suerte disponemos de una alarma natural puesta por el paciente cuando manifiesta sensación de calor quemante. En pacientes con pérdida de la sensibilidad térmica, debemos aplicar potencias menores de lo habitual y dosis también más bajas, además de trabajar convencidos y seguros de que con la potencia aplicada no corremos riesgos, aunque el paciente no detecte el calor. Ante la duda, no aplicar.

Con el sistema de láser de CO<sub>2</sub>, nunca conviene dejar el punto fijo en un lugar: siempre debe moverse haciendo un barrido suficientemente extenso. **Es de vital importancia entrenarse previamente en las potencias medias más recomendadas en una determinada superficie.** Por ejemplo: en 100 cm<sup>2</sup> se soportan bien 6 W, así como en 50 cm<sup>2</sup> se toleran 3 W.

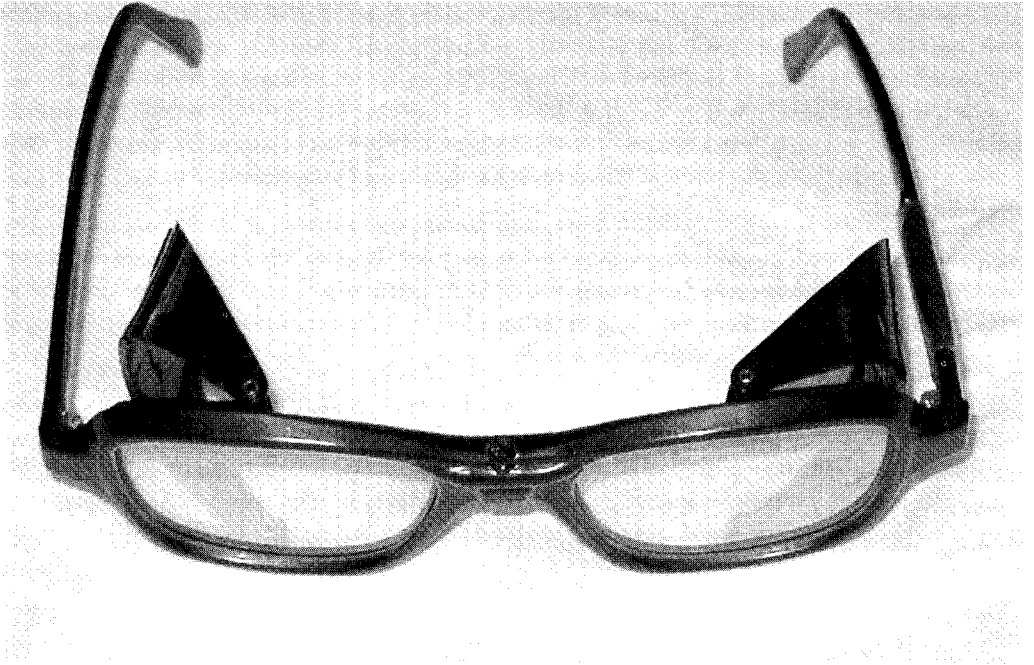
En colecciones infecciosas o heridas infectadas, debemos evitar la aplicación de láser si el proceso se manifiesta como florido. Pero en los larvados, conviene tantear su aplicación con dosis moderadas (digamos unos 5 J/cm<sup>2</sup>), pues, frecuentemente, los tejidos reciben el empuje necesario para la reactivación del sistema defensivo.

Evitaremos que tanto el paciente como el terapeuta (u otra persona próxima) reciban sobre los ojos el rayo de láser directamente o reflejado por una superficie pulida. *Para evitarlo, se usarán las correspondientes gafas protectoras que acompañan a todos los equipos para terapia láser* (Fig. XVII. 52).

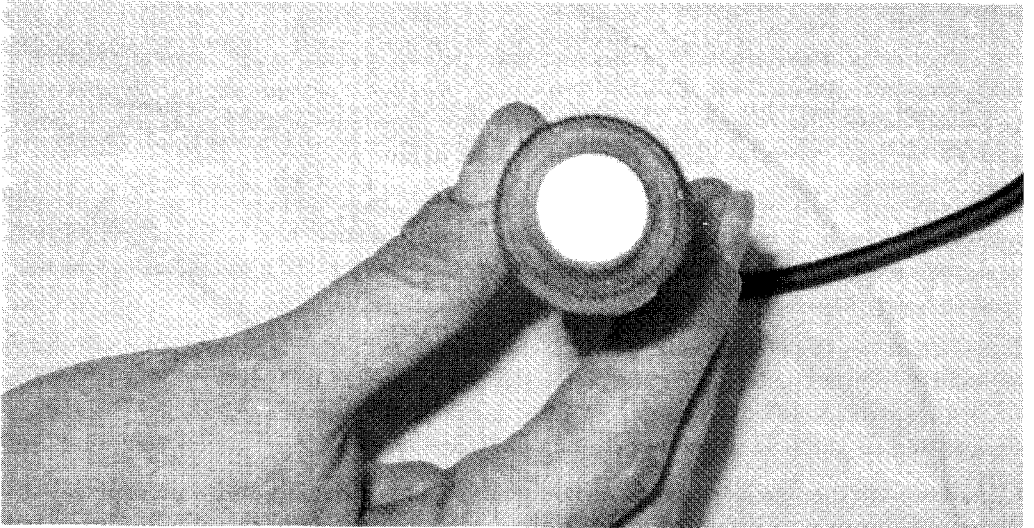
Este último punto es de especial trascendencia, y sobre el que debemos detenernos para su análisis, por la posible doble afectación del paciente y del terapeuta, ya que el cristalino produce un efecto de convergencia en el haz de rayos que alcanza al ojo, concentrando más aún su potencia sobre un pequeño punto de la retina.

**Considerando que los infrarrojos no son visibles, el terapeuta pondrá un especial cuidado en el manejo y enfoque dirigido del cabezal en los sistemas de diodo. Pues excesos de confianza o ligereza en el manejo, aunque se crea inactivo el rayo, pueden provocar emisiones inesperadas dirigidas a los ojos de alguna persona cercana, o propios, con resultados fatales** (Fig. XVII 53).

El mayor peligro se halla en la exposición directa o reflejada por espejos u objetos reflectantes. El láser reflejado por superficies no pulidas pierde gran cantidad de su fuerza energética. Las superficies muy pulidas conservan un alto grado de reflexión, por lo que es



*Figura XVII.52.*



*Figura XVII.55.*

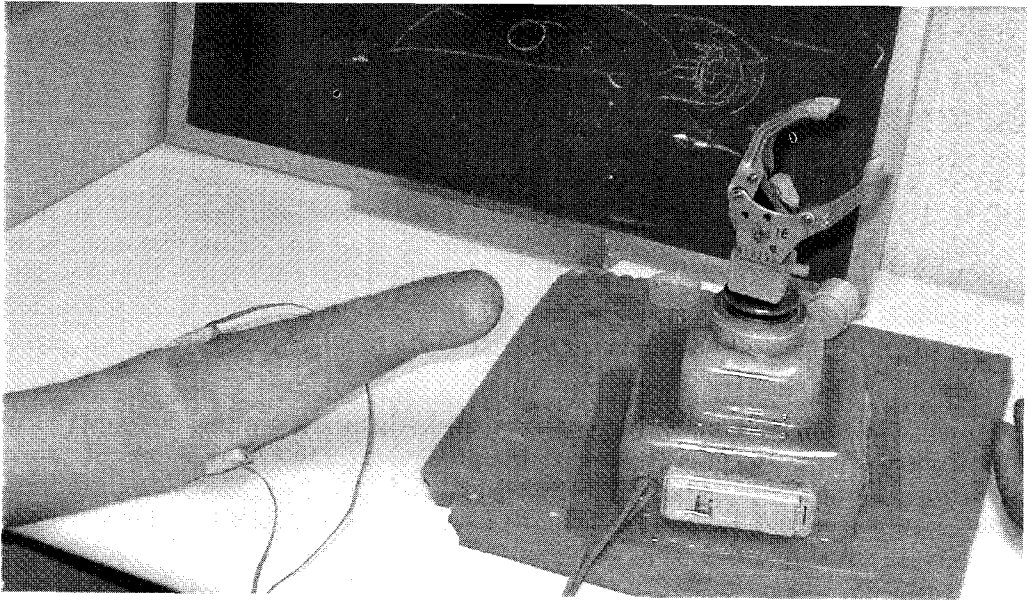
necesario tener precauciones constantes, ya que éstas son muy frecuentes en la vida cotidiana:

- superficies del propio aparato;
- cristales de ventanas, cuadros, objetos de cristal, relojes;

- objetos metálicos;
- joyas del paciente;
- muebles pulidos y barnizados, etcétera.

Se reitera que, para protegerse de estos peligros, debemos usar las gafas suministradas a tal efecto por la casa constructora y tratar de no caer en un exceso de confianza o desidia en el manejo.

Debe valorarse la instalación del equipo y los objetos que lo rodean con el fin de garantizar la seguridad en cuanto a posibles zonas de reflejos, a la vez que se usarán colores muy absorbentes para la longitud de onda con la que se está trabajando.



## CAPÍTULO XVIII

# Biofeedback y miofeedback en fisioterapia

Las técnicas de biofeedback y de miofeedback resultan unas potentes herramientas en fisioterapia, que ayudan al paciente y al fisioterapeuta. Al primero, en su entrenamiento terapéutico y al segundo en el control objetivo de la evolución terapéutica del paciente. Además de los fisioterapeutas, muchos profesionales de la medicina, del deporte, de la psicología, de la ergonomía, de la enseñanza especial, de la observación biológica, etc., también las aplican.

En nuestras actividades de la vida cotidiana, estamos guiados constantemente por retroalimentación o información que modula nuestra actividad voluntaria. Actuamos de acuerdo con lo que percibimos por nuestros sentidos (imaginemos un conductor que cierra los ojos en una carretera cuando lleva un coche). Otra función importante de esta herramienta consiste en que también nos permite romper la barrera de funciones biológicas, consideradas neurovegetativas o no controlables por la actividad voluntaria, y hacerlas objetivables, mensurables y controlables (podemos objetivar el ritmo cardíaco, controlarlo e influir sobre los latidos del corazón).

El sistema consiste en aplicar al paciente detectores de la bioactividad explorada, procesar la información electrónicamente y presentarla de forma visual, auditiva, sensorial, etc., para así objetivarla a nivel voluntario.

### Definiciones

- Feedback: retroalimentación (responder de acuerdo con lo observado).
- Biofeedback: referido a la actividad biológica en general (BFB).
- Miofeedback: detecta la electroactividad muscular.

Las técnicas de biofeedback controlan muchas actividades biológicas en general y los fisioterapeutas trabajamos con gran número de ellas. Pero una de sus variantes, la de miofeedback, es empleada de forma muy frecuente y habitual. Los equipos usados procesan la información obtenida y la representan en pantallas con líneas o columnas, con columnas de LEDs luminosos, con sonidos diversos, en valores numéricos, activando juguetes de los niños, etcétera.

Los equipos de calidad permiten acumular en memoria los datos obtenidos para posteriormente realizar estadísticas evolutivas. Esta propiedad, aunque muy interesante, no lo es tanto para los fisioterapeutas, ya que trabajamos en la práctica en tiempo real, es decir, con observación directa a lo largo de la sesión para que el paciente aprecie el resultado de su esfuerzo en ese instante, a fin de que actúe en consecuencia al siguiente intento. A pesar de ello tiene interés guardar muestreos para posteriores análisis estadísticos, informes evolutivos, cambios en la metodología, etcétera.

## Sistemas de biofeedback

Es muy amplia la oferta tecnológica de los fabricantes; así, podemos encontrarnos equipos que trabajan:

- por percepción sensorial (vista, tacto, propiocepción, equilibrio, etcétera);
- por presión mecánica (presión de esfínteres);
- por humedad (sudor, orina);
- por actividad cerebral;
- por temperatura;
- por presión arterial;
- *por actividad mioeléctrica (miofeedback);*
- por deformación (elongación o flexión);
- por ritmo cardíaco;
- por ritmo respiratorio.

## Ventajas de las técnicas de biofeedback y de miofeedback

Las ventajas de este conjunto de técnicas permiten:

- observación directa de la actividad terapéutica, tanto por el paciente como por el fisioterapeuta;
- comparar la respuesta del lado afecto de patología con el sano (en equipos con más de un canal);
- permite mostrar al paciente el objetivo deseado si primeramente se lo aplica el terapeuta sobre sí mismo, a modo de previo entrenamiento y explicación de la técnica;



- el paciente rápidamente *entiende y aprende* el trabajo encomendado;
- el paciente se anima en su nivel de participación;
- se aprecia la evolución objetiva del proceso;
- pueden aplicarse modificaciones para evitar errores o adaptarse a la evolución;
- el método o protocolo es personalizado en cada paciente;
- es de gran ayuda en procesos de parálisis;
- es un método inocuo (salvo por los cuidados lógicos en las aplicaciones intracavitarias);
- permite trabajar con niños por la facilidad para adaptar el equipo a artilugios lúdicos;
- permite trabajar con ancianos porque facilita la concentración en la terapia;
- permite su aplicación en pacientes con cierto nivel de incapacidad intelectual.

## Desventajas de las técnicas de biofeedback y de miofeedback

Las desventajas normalmente responden a cuestiones de tipo tecnológico:

- se necesitan equipos de buena calidad y altas prestaciones;
- **para terapias de incontinencias se requieren instalaciones adecuadas, metodologías de trabajo específicas, dominio y experiencia muy concreta en estas técnicas y cuidados higiénicos con el material;**
- las ondas eléctricas parasitarias abundan y con cierta frecuencia alteran el tratamiento normal;
- el cuidado y manejo de los electrodos y cables para el paciente debe ser exquisito;
- los equipos pequeños y portátiles limitan mucho las posibilidades de la terapia.

## Proceso del miofeedback

Cuando los músculos se contraen, generan potenciales eléctricos que alcanzan la superficie corporal hasta el exterior de la piel. Si aplicamos dos o tres electrodos (según el fabricante), detectamos la referida actividad para procesarla (Fig. XVIII. 1). Es más frecuente el uso de tres electrodos: uno hace de indiferente y los otros dos de activos (de los activos, uno capta las ondas de carga positiva y, el otro, las ondas de carga negativa, con referencia al neutro o indiferente, para integrarlas en un conjunto o media).

El equipo que procesa las ondas es de gran sensibilidad, pues detecta niveles de microvoltios sobre la piel procedentes de la despolarización de las fibras musculares.

El miofeedback no representa la actividad muscular a modo de electromiógrafo, sino que integra la señal en una media de toda la actividad muscular. Sin embargo, frecuentemen-

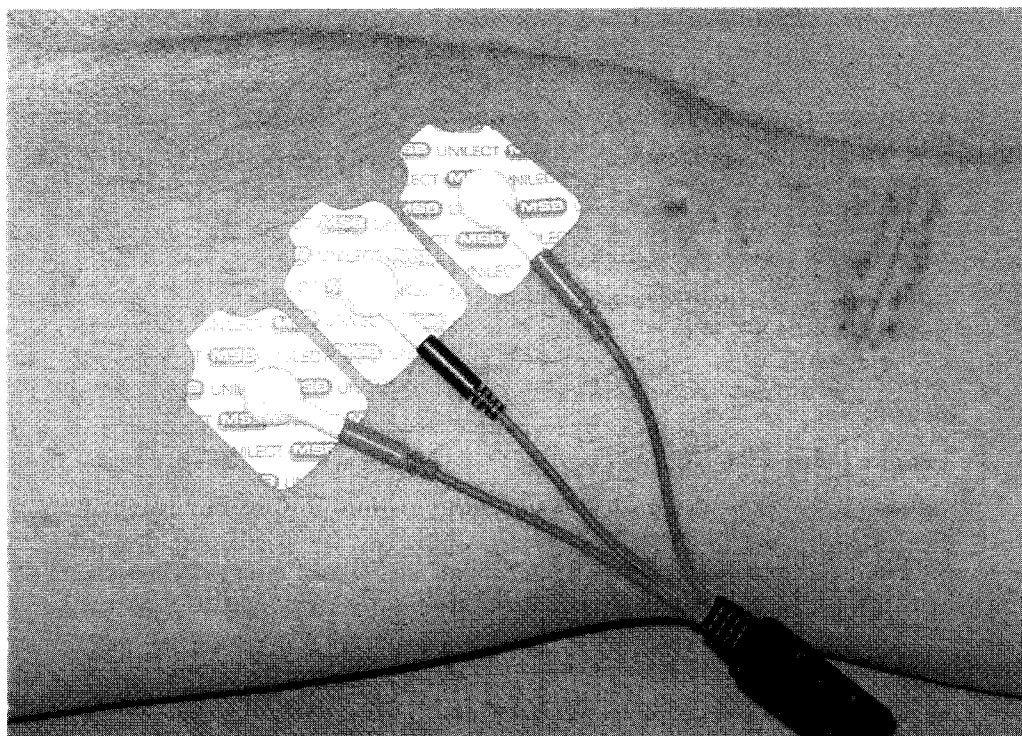


Figura XVIII.1.

te se emplea la expresión «electromiografía de superficie». Los fisioterapeutas tendemos a diferenciar el miofeedback del biofeedback, aunque, realmente, el miofeedback es una variante del conjunto de técnicas de biofeedback, pero con una gran trascendencia y potencial de maniobra.

## Método de trabajo con el miofeedback

**Activo.** Si realizamos trabajos musculares de forma intencionada o voluntaria, lo consideraremos como una variante de tipo positivo o activo, de manera que siempre implicará aumento de la actividad muscular y, por ende, se empleará mucho para el entrenamiento y fortalecimiento muscular o mejora de otras actividades biológicas.

**Pasivo.** Si intentamos disminuir voluntariamente la actividad muscular mantenida de forma involuntaria (como hipertonicidad o contracturas), lo consideraremos una metodología de trabajo en negativo o pasivo. Buscamos así control en la disminución de la actividad muscular por relajación, o control a la baja de otras actividades biológicas.

Un ejemplo de método activo consistiría en aplicar los electrodos en la masa muscular de un grupo parético e indicar al paciente que intente contraerlos cadencialmente, a la vez que observa la respuesta en la pantalla o en la columna de LEDs para intentar superarse.

Otro ejemplo de método pasivo se basa en colocar los electrodos en los trapecios de un paciente con gran hipertono muscular e indicarle que observe el nivel de su tono muscular (representado en una línea o en una columna de LEDs), que mantiene involuntariamente, para que intente, de forma voluntaria, bajar el nivel de la línea en la pantalla o disminuir la altura de la columna de leds.

## Combinación de miofeedback con estimulación eléctrica

El miofeedback detecta la actividad muscular voluntaria. La electroestimulación provoca la contracción muscular involuntaria. En esta técnica, normalmente alternamos el trabajo activo detectado por el miofeedback con la electroestimulación. A lo largo de la sesión, el miofeedback nos indicará el progresivo fortalecimiento o fatiga del estado o evolución en el trabajo voluntario. Cuando el músculo o grupo muscular trabajado requiera de un refuerzo de estimulación eléctrica transcutánea, se lo aplicaremos para entrenarlo y, en la siguiente cadencia, observamos los resultados. Los electrodos deben ser diferentes para cada función.

El trabajo activo puede darse tanto en el tiempo de estimulación como en el de detección. El equipo (o un estimulador con un miofeedback combinados) debe estar perfectamente coordinado desde el punto de vista electrónico para separar la estimulación de la detección mioeléctrica. Nunca debe estar trabajando la detección del miofeedback a la vez que se aplica estimulación eléctrica, ya que podemos inyectar hasta más de 100 voltios en entradas que están preparadas para captar millonésimas de voltio.

Esta técnica se aplicará en procesos de parálisis periféricas parciales, tonificación selectiva de un fascículo muscular y atroñas musculares globales. Es una técnica típica en las incontinencias por fatiga del suelo pélvico. Otros muchos músculos pueden potenciarse también con la técnica de miofeedback y electroestimulación.

Una utilidad muy interesante y práctica de la combinación de la técnica de electroestimulación con detección mioeléctrica mediante miofeedback consiste en la observación de:

- calentamiento muscular al inicio de la sesión;
- mejor tiempo de contracción muscular;
- del tiempo más adecuado de espera entre contracción y contracción;
- del aumento en la capacidad de trabajo muscular al inicio de la sesión;
- de los efectos positivos o negativos de la estimulación eléctrica;
- representación de la fatiga muscular;
- momento en que debemos finalizar la sesión, etcétera.

En definitiva, nos permite observar objetivamente situaciones que antes intuíamos por apreciaciones subjetivas o comentarios del paciente.

## Descripción de un equipo básico de miofeedback

En la figura XVIII. 2 se representa el panel frontal de un hipotético equipo de miofeedback que será descrito a continuación. Se da por hecho que en el panel posterior nos encontraremos el interruptor de encendido y apagado, conectores para comunicarlo con una computadora y conexión para activar y desactivar artilugios de tipo lúdico u otros.

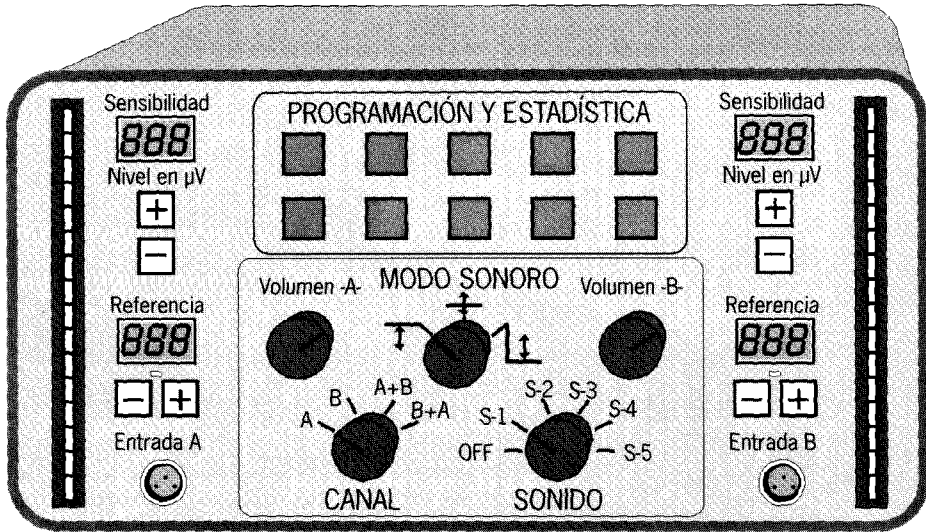


Figura XVIII.2.

En una apreciación de tipo general, observamos que en la izquierda y en la derecha encontramos los mismos elementos. Ello implica que nos hallamos ante un equipo de **dos canales**.

Cada canal dispone de una **columna de LEDs** en la que se representa, de forma lumínica y progresiva, la cantidad de actividad mioeléctrica detectada. Con ello, el paciente percibe, de forma cualitativa y en tiempo real, una orientación visual de su actividad biológica pretendida, incluidas sus oscilaciones, bajadas y aumentos de actividad. En el caso de que el equipo estuviera conectado a una computadora, en la pantalla se dibujarían las evoluciones del trabajo realizado en una visión comprensiva.

Asimismo, vemos los conectores o **entradas** para los cables que proceden del paciente.

La **sensibilidad** (en ambos canales) es el nivel de captación de potenciales evocados; y es ajustado en microvoltios ( $\mu\text{V}$ ). Cuando los electrodos no captan potenciales, no se ilumina ningún LED; pero, cuando los electrodos detectan actividad, la columna se ilumina progresivamente hasta alcanzar el **último LED** (y más alto) coincidiendo con la sensibilidad ajustada. Los ajustes más frecuentes suelen estar entre 10, 25, 50, 100, 250 y 500  $\mu\text{V}$ . Ello quiere decir que, si ajustamos 25  $\mu\text{V}$ , la columna de LEDs se completará cuando se capten los 25  $\mu\text{V}$ . Si ajustamos 250  $\mu\text{V}$ , la columna se completará al detectar los 250  $\mu\text{V}$ . Luego, en patologías donde la actividad muscular sea mínima (en una parálisis periférica parcial), ajustaremos la sensibilidad a 10 o a 25  $\mu\text{V}$ , para aumentarla según la evolución. En actividades de potenciación en un deportista, nos veremos obligados a situar la sensibilidad en 250 o en 500  $\mu\text{V}$ .

La **referencia**, también para ambos canales, consiste en marcar al paciente un tope o límite superable en una aplicación activa o que pueda mantenerse por debajo en las aplicaciones pasivas. Bien en el display de referencia o en el de sensibilidad, se representarán los valores numéricos de los microvoltios detectados en ese instante, para que el paciente (o el terapeuta) tenga una visión cuantitativa de su esfuerzo. Supongamos que situamos la referencia en el LED 8º: lo que hemos hecho es marcar al paciente una referencia más para que intente superarla.

En la parte media y alta del panel apreciamos una serie de pulsadores que se destinarán a diferentes funciones, no especificadas, de programación, de análisis y de interconexión con la computadora; y que dependerán de las pretensiones del posible fabricante.

En la parte central y baja del panel, encontramos una serie de mandos que interactúan entre los dos canales.

El mando denominado CANAL es el selector de canal, de manera que podemos activar el canal A únicamente, el B únicamente, el A+B para que domine el A y el B+A para que sea el B el dominante. La dominancia de un canal sobre el otro es importante cuando un paciente tiene colocados electrodos en el lado afecto y en el sano; el sano actúa de referencia y es marcado visualmente, pero el acompañamiento o refuerzo sonoro actuará sobre el lado afecto, que es el que realmente merece toda la atención y refuerzos, tanto visuales como auditivos.

El mando nombrado como SONIDO es el que activa o desactiva la función sonora o permite elegir diferentes tipos de sonidos, cuyas cualidades dependerán de la ocurrencia del fabricante, y se seleccionará uno u otro dependiendo del bienestar del paciente. Es habitual encontrar aumentos de frecuencia coincidiendo con el aumento de actividad, cambios del timbre coincidiendo con los cambios en la actividad, escalas musicales, etcétera.

También vemos dos mandos tabulados como **Volumen -A-** y **Volumen -B-** y que lógicamente serán los ajustes sonoros del canal A o del B, respectivamente.

Finalmente, encontramos, en la zona central de controles para sonido, un mando giratorio de tres posiciones con los siguientes iconos:

1. a la izquierda, una flecha de doble punta por debajo de una línea horizontal;
2. en el centro, una flecha de doble punta cruzada por una línea horizontal;
3. a la derecha, una flecha de doble punta por encima de una línea horizontal.

Este mando trabaja únicamente cuando está activado el refuerzo sonoro:

- en la posición de la izquierda, el sonido podrá oírse siempre que no hayamos superado el nivel de referencia establecido (en las representaciones en pantallas, normalmente es una línea que cruza toda la pantalla);
- en la opción central, se oír el sonido elegido de manera continua y no importará el umbral o nivel de referencia;
- en la posición derecha, el sonido únicamente se activará cuando se supere el nivel de referencia establecido.

## Protocolo de una sesión de miofeedback

Supongamos un paciente amputado por la muñeca con el que nos hemos marcado el objetivo de que aprenda y domine el uso de una prótesis mioeléctrica. La prótesis realiza el gesto funcional de apertura y cierre de pinza combinada entre el primer dedo, por un lado, y el resto en bloque, por el otro (Fig. XVIII. 3).

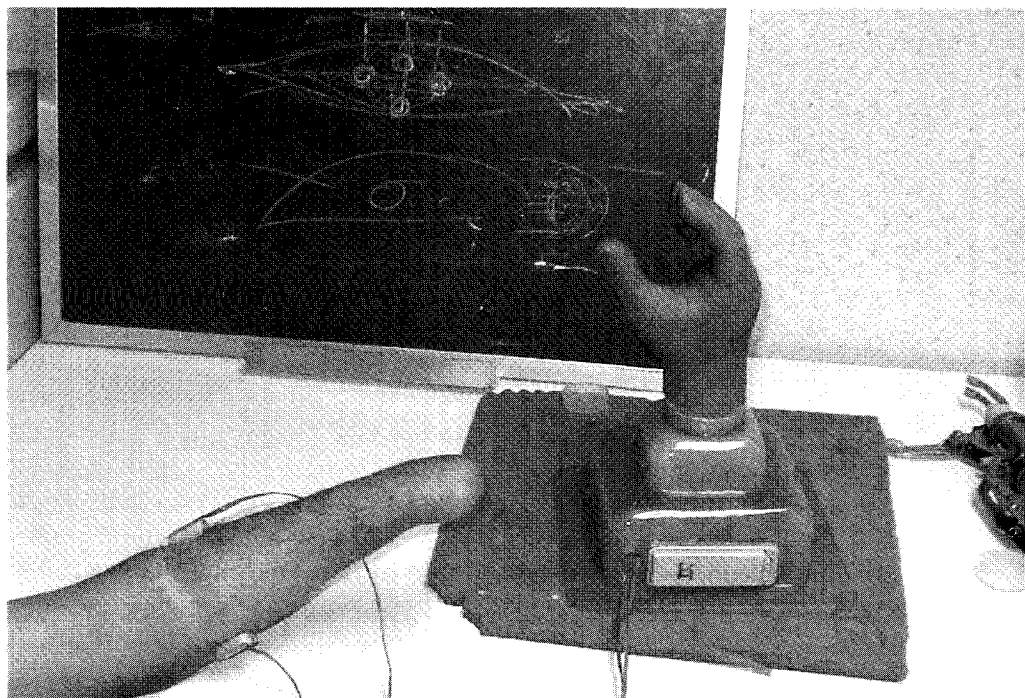


Figura XVIII.5.

Dado que la maniobra protésica pretendida tiene doble función (cierre de pinza y apertura de pinza), debemos buscar dos grupos musculares con buena función y bien diferenciados (flexores para el cierre y extensores para la apertura).

Podemos entrenar al paciente previamente sobre un miofeedback estándar o sobre una prótesis diseñada a tal efecto (representada en la figura).

- 1) Explicación previa al paciente de nuestros objetivos a conseguir (también los suyos) y hacerle las aclaraciones pertinentes de la metodología utilizada para su correcta comprensión (observar en la figura la existencia de una pizarra con esquemas ilustrativos al respecto).
- 2) Poner en marcha el equipo, observando que, en principio, no manifieste situaciones de mal funcionamiento. Activar el canal o canales que se van a usar (dos en este caso) y manejar los cables con orden y delicadeza.
- 3) Limpieza de la piel con alcohol y permitir su evaporación para facilitar la conducción eléctrica.

- 4) Mediante palpación previa, daremos órdenes al paciente para que realice repetidas contracciones musculares tratando de palpar y detectar el lugar de mejor tono muscular. Fijaremos provisionalmente los electrodos para comprobarlo y así encontrar su mejor situación. Localizaremos y marcaremos definitivamente los puntos de fijación siempre que se hallen dentro de la zona abarcada por el encaje protésico (en esta técnica es necesaria la coordinación previa con el protésico).
- 5) Una vez dedicado un tiempo a la mejor localización de los electrodos, los situaremos de forma definitiva, considerando la manera en que finalmente se colocarán según el mecanismo de la prótesis.
- 6) Un canal se fijará en los flexores y el otro canal en los extensores (observar la situación de los electrodos en la figura XVIII. 3).
- 7) Centraremos la atención en uno de los dos grupos (digamos, flexores) mediante intentos de contracción e importante esfuerzo; fijaremos el nivel en su canal y una posible referencia o umbral.
- 8) Seguidamente nos dedicaremos al canal de los extensores, para que, mediante los esfuerzos correspondientes por parte del paciente y centrados en los extensores, podamos fijar la sensibilidad y una posible referencia que convenga superar.
- 9) Debemos marcar al paciente objetivos claros, no confusos y bien definidos, pero relativamente fáciles de superar o conseguir. Por ejemplo, para comenzar en este caso, que intente el trabajo de los flexores bien diferenciado de los extensores. Para ello, indicaremos al paciente que ponga toda su atención en elevar la columna de los flexores al máximo a la vez que disminuye la altura de los extensores «hasta donde pueda» (según la figura, controlaría directamente la prótesis de entrenamiento).
- 10) Dependiendo de la integridad muscular del paciente, le indicaremos que realice intentos durante varios segundos (digamos 5 sg), con descansos de otros tantos segundos, a la vez que centra su atención en las columnas de LEDs y en los refuerzos auditivos, si es que los hemos activado. Dado que la atención visual genera más fatiga que la auditiva, es importante activar un sistema sonoro adecuado: por ejemplo, que suenen notas musicales cada vez de mayor frecuencia, pero cuando se haya superado el umbral de referencia.
- 11) Normalmente, el paciente se autoanima y es posible que necesite retoques al alza en los niveles de sensibilidad y en las referencias durante la misma sesión. Es normal que, en la primera fase de la sesión, tiendan a mejorar los resultados, en una segunda fase se estabilicen y, finalmente, decaigan (lógicamente, por fatiga). Llegados a este punto, se retirará la aplicación.

## Indicaciones del miofeedback

- Tratamientos de parálisis parciales.
- Tratamientos de parálisis centrales (hipertonías, espasticidad).

- Tratamiento de parálisis cerebral infantil (PCI).
- Tratamientos de incontinencia.
- Entrenamiento de amputados para prótesis mioeléctricas.
- Perfeccionamiento de los movimientos y trabajos encomendados a los pacientes.
- Fortalecimientos de músculos atroficos y no integrados en su cadena sinérgica.
- Potenciación muscular.
- Elongación muscular.
- Propiocepción y restablecimiento de funciones neuromusculares perdidas (comparando con el lado sano).
- Entrenamiento de marchas y gestos.
- Entrenamiento de la propiocepción en el control del apoyo y equilibrio sobre plataformas.
- Control postural.
- Relajación de contracturas musculares.
- Disminución del dolor en entesitis, tendinitis o mialgias.
- Disminución del dolor y relajación en lumbalgias.

### **Indicaciones y aplicaciones del biofeedback**

- Entrenamiento del control mental.
- Control del estrés.
- Control del dolor (migraña).
- Entrenamiento al control del ritmo cardíaco.
- Relajación buscando la generación de ondas alfa.
- Control de la tensión sanguínea.
- Control de procesos respiratorios.
- Control de la hiperhidrosis.
- Control de la temperatura corporal.
- Control de incontinencia nocturna.
- Control de tics nerviosos.
- Generación de fenómenos artísticos.
- Experimentación animal.

### **Biofeedback en psicología**

En psicología se aplican ampliamente las técnicas de biofeedback para control de muchas actividades o actitudes biológicas de los pacientes que, por ser involuntarias o automáticas, no son susceptibles de ser modulados voluntariamente en forma adecuada.



Es muy típico el tratamiento del estrés psicosomático utilizando detectores de ondas cerebrales, detectores de tono muscular, detectores de ritmo cardíaco, de presión arterial, de sudoración, etc., para que, de forma adecuadamente dirigida por el psicólogo, el paciente aprenda a controlar su biología y normalizarla.

Estos equipos suelen ofrecer cualidades que facilitan el memorizar los resultados alcanzados en las sucesivas sesiones, para, posteriormente, presentarlos en forma de análisis estadísticos que permitan al terapeuta la observación y progreso del paciente. Normalmente, los equipos de biofeedback o de miofeedback con cierto nivel de calidad permiten la conexión a un ordenador para el proceso de datos, o ellos mismos los procesan y los presentan.

A modo de ejemplo y dentro del amplio campo de posibilidades, el control de la frecuencia cerebral es típico para conseguir relajación y eliminar tensión psicosomática.

Frecuencia de las ondas cerebrales:

- Delta: 1 a 3 Hz.
- Theta: 4 a 7 Hz.
- Alfa: 8 a 11 Hz.
- Sigma: 12 a 15 Hz.
- Beta: 15 a 30 Hz.

### **Biofeedback en actividades de tipo artístico**

En los últimos tiempos, aprovechando las posibilidades tecnológicas de la informática y de la imagen (también de la música), ciertos artistas, incluso terapeutas, consiguen representar y proyectar el aura corporal con sus tonalidades y colores, de manera que el propio actor y generador del aura puede influir mentalmente en los cambios de forma y color de su propia aura, bien con fines terapéuticos o bien con fines de exhibición y espectáculo.

Asimismo, existen músicos que son capaces de componer sonidos mentalmente o modular composiciones musicales para luego reproducirlas mentalmente y conseguir efectos nunca alcanzados.

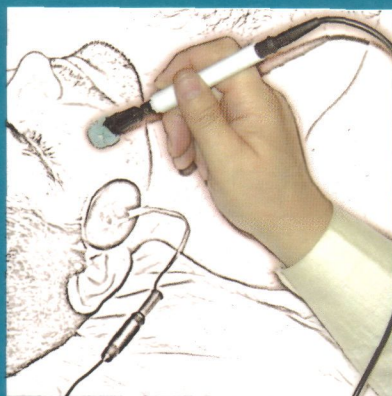
## Bibliografía

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists. *Valores límites para sustancias químicas y agentes físicos en el ambiente de trabajo e índices biológicos de exposición 1994-1995*. Valencia: Generalitat Valenciana (Conselleria de treball i afers socials).
- Basmajian J. *Electrofisiología de la acción muscular*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, 1976.
- Belloch Zimmermann V, Caballé Lancry C, Zaragoza Poelles R. *Fisioterapia teoría y técnica*. Valencia: Saber, 1970.
- Bossi J. *Bases neurológicas de las reflexoterapias*. Masson, 1985.
- Brechmann, Dzieia, Hörnemann y cols. *Prontuario de electricidad-electrónica*. Paraninfo, 1995.
- Burbano de Ercilla S, Burbano García E, Gracia Muñoz C. *Física general* (31 ed.). Zaragoza: Mira Editores, 1993.
- Caballé Lancry C. *Electrodiagnóstico clínico*. Barcelona: Ed. Saber, 1966.
- Carroll JM. *Fundamentos y aplicaciones del láser*. Barcelona: Marcombo, 1973.
- Cotta H, Heiperth W, Teirich-Leube H. *Tratado de rehabilitación*. Barcelona: Labor, 1974.
- den Adel RV, Luykx RHJ. *Electroterapia de frecuencia baja y media*. 1991.
- Ei-ichiro Ochiai. *Química bioinorgánica (una introducción)*. Barcelona: Reverté, 1985.
- Fruento A. *Biofísica*. Intermédica, 1973.
- Gilert O. *Informaciones sobre la terapia de parálisis atónicas con corrientes excitantes*. Alemania, 1966.
- Guyton A. C. *Tratado de fisiología médica* (7.ª ed.). Interamericana, 1988.
- Hoogland R. *Terapia ultraviónica*.

- Imbriano A. *Cronaximetría electrónica y electrodiagnóstico*. Buenos Aires: Vázquez, 1968.
- IV Symposium Internacional sobre Aparato Locomotor, bajo la coordinación de José M<sup>a</sup> Galvez Filde. *Nuevas técnicas diagnósticas y terapéuticas en patología del aparato locomotor: (Termografía, campos electromagnéticos, magnetoterapia, láser)*. MAPFRE, 1986.
- Josep Coll. *La terapia láser, hoy*. Barcelona: Centro Documentación Láser, 1986.
- Khan J. *Principios y práctica de electroterapia*. Barcelona: Jims, 1991.
- Licht S. *Electrodiagnóstico y electromiografía*. Barcelona: Jims, 1970.
- Lippold OCJ, Winton FR. *Fisiología humana*. Barcelona: Jims, 1970.
- López Chicharro J., Fernández Vaquero A. *Fisiología del ejercicio* (2.<sup>a</sup> ed.). Madrid: Editorial Médica Panamericana, 1998.
- Marijke Hogenkamp, Els Mittelmeijer, Ineke Smits y Coen van Stralen. *Terapia interferencial*.
- Martínez Agulló E. *Incontinencia urinaria (conceptos actuales)*. Departamento científico de laboratorios INDAS S.A., 1990.
- Montrone V., Petruzzella O., Petrosino R. *El dolor, un síntoma multidisciplinar*. Edición especial para Sanofi Winthrop, 1992.
- Ochoa Gómez JR. *Electroótesis y electrodiálisis*. McGraw-Hill, Iberdrola y Ente Vasco de la Energía, 1996.
- Parry RW, Tellefsen RL, Steiner LE y Dietz PM. *Química (fundamentos experimentales)*. Ed. Reverté, Barcelona, 1973.
- Piloro R. TENS *Electroestimulación transcutánea de efecto analgésico*. 1983.
- Plaja Masip J. *Manual de ultrasonoterapia*. Masson, 1988.
- Schmid F. *Aplicación de corrientes estimulantes*. Barcelona: Jims, 1987.
- Schneider W, Dvorak J, Dvorak V, Treitschler T. *Medicina manual terapéutica*. Barcelona: Scriba, 1989.
- Van den Bouwhuijsen F, Maassen V., Meijer M., van Zutphen Henk. *Terapia de onda corta pulsátil y continua*.
- Van Valkenburgh, Nooger & Neville. *Electricidad industrial básica* (2 tomos). Barcelona: Marcombo, 1984.
- Van Valkenburgh, Nooger & Neville. *Electrónica básica* (7 tomos). Ed. Marcombo, Barcelona, 1981.
- Zaragoza Rovira C. *Manual de física para fisioterapia*. Valencia: Ediciones Rubio Esteban, S.A., 1984.
- Zauner Gutmann A. *Fisioterapia actual*. Jims, 1980.
- Zibecchi C.N. *Terapéutica electrofísica*. Buenos Aires: Gema, 1986.

Rodríguez Martín

Rodríguez  
Martín



# Electroterapia en Fisioterapia

2a. EDICIÓN

La electroterapia se ha convertido en una técnica popular al alcance de cualquier persona, favorecida en gran medida por las campañas televisivas que han llevado a los hogares un electroestimulador directamente asociado a la idea de bienestar. Sin embargo, nada más lejos de la realidad ya que requiere de la precisión, dominio y conocimiento de las diferentes doctrinas terapéuticas y su correcta aplicación, y sólo los profesionales están preparados para prevenir y evitar posteriores lesiones y quemaduras.

Los profesionales de la medicina tienen ante sí el reto de la calidad y buen hacer frente a los pacientes que tratan. Sólo un alto nivel de exigencia y una preparación técnica precisa y adecuada pueden satisfacer las exigencias y objetivos de calidad exigidos por los pacientes. El autor pretende en esta obra que ambas partes —fisioterapeutas y pacientes— alcancen sus pretensiones.

En este libro se desarrollan las diferentes técnicas abarcadas por la electroterapia con un triple objetivo: servir de referencia precisa para el profesional; ser un libro formativo para el alumno; y servir de apoyo a los fabricantes de equipos con el fin de adecuarse a las necesidades tanto del profesional como del paciente.

El lector profesional encontrará en esta segunda edición un amplio desarrollo de las dosificaciones en las diferentes técnicas. Asimismo hallará un capítulo con referencia al BIOFEEDBACK y MIOFEEDBACK.

ISBN: 84-7903-753-9



9 780479 637536

U.C.M. BIBLIOTECA TALCA



35616100902828

Electroterapia en Fisioterapia

2a. EDICIÓN

615.84

R696e

2004

c. 2

AL MEDICA  
americana

