



## **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS FORMAS DE ONDAS, AMPLITUDES, CORRIENTES, FRECUENCIAS Y TIEMPOS DE APLICACIÓN UTILIZADAS EN LA ELECTROTERAPIA**

### **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.

Los principales efectos de las distintas corrientes de electroterapia son: Anti-inflamatorio, Analgésico, Mejora del trofismo, Potenciación neuro-muscular, y Térmico, en el caso de electroterapia de alta frecuencia.

Se aplica en procesos dolorosos, inflamatorios músculo-esqueléticos y nerviosos periféricos, así como en atrofiaciones y lesiones musculares y parálisis. Existe la posibilidad de aplicarla combinada con la ultrasonoterapia. La electroterapia es una prescripción médica y es aplicada por un fisioterapeuta o bien una técnica de tratamiento aplicada a manos de un Kinesiólogo, dependiendo del país.

### **UNIDADES Y LEYES FUNDAMENTALES**

- ✓ Unidad electrostática: Carga positiva que colocada en el vacío a 1 cm de distancia de otra carga del mismo signo, la repele con la fuerza de una DINA. Esta unidad es muy pequeña y la unidad de trabajo es el culombio. Es necesario saber que la fuerza con que dos cuerpos electrizados se atraen o se repelen es directamente proporcional al producto de sus cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa.
- ✓ Capacidad: Relación que existe entre la unidad de carga (culombio) y el potencial-unidad (voltio) que se mide en faradios. El faradio es muy grande y generalmente se utiliza el microfaradio o picofaradio.
- ✓ Condensador: Conjunto de dos cuerpos conductores metálicos, colocados próximos y separados por un aislante (dieléctrico del condensador que permite conservar constante una cierta cantidad de electricidad durante un cierto tiempo.
- ✓ Diferencia de potencial: Se mide en voltios y condiciona la velocidad de los electrones a través del conductor, no la velocidad de la corriente eléctrica que es constante.



- ✓ Intensidad: número de electrones que circulan por unidad de tiempo. Se mide en amperios (1 culombio por segundo), con fines terapéuticos hablamos de miliamperios.
- ✓ Resistencia eléctrica: Resistencia de un conductor al paso de la corriente eléctrica. Se mide en Ohmios.
- ✓ Primera ley de Ohm:  $R=V/A$ , o lo que es lo mismo, un ohmio es la resistencia que opone un conductor por el que circula una corriente con diferencia de potencial de 1 voltio con una intensidad de 1 amperio.
- ✓ Segunda ley de Ohm: La resistencia de un conductor es directamente proporcional a su longitud e inversamente proporcional a su sección, dependiendo además de la resistividad propia de cada cuerpo.
- ✓ Conductancia: Facilidad de un conductor para ser recorrido por una corriente eléctrica.
- ✓ Trabajo: Producto de la cantidad de electricidad circulante por la diferencia de potencial. Se mide en Julios.
- ✓ Potencia: Relación existente entre el trabajo y el tiempo, se mide en vatios (Electroterapia en Fisioterapia, 2ª. Edición, Rodríguez Marín).

## **EFFECTOS GENERALES DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA**

Tras la exposición de estos efectos generales, estaremos en condiciones de aventurar las principales indicaciones y contraindicaciones de la electroterapia. Se consideran como efectos generales de la corriente eléctrica la producción de calor y los efectos eléctricos magnéticos y electroquímicos.

- ✓ Producción de calor a lo largo del circuito, que sigue la ley de Joule, según la cual, el calor producido es proporcional a la resistencia, al cuadrado de la intensidad y al tiempo.
- ✓ Efecto electromagnético: A través de diversos estudios se observó la facultad que tiene una corriente eléctrica de desviar una aguja magnética. La consecuencia de esta experiencia es que una corriente eléctrica crea un campo magnético; si se hace pasar una corriente por un solenoide (está constituido por una serie de circuitos colocados paralelamente y se comporta como un imán) produce en otro una corriente por proximidad (solenoides inductor y solenoide inducido).
- ✓ Efecto electroquímico: Al pasar la corriente por soluciones electrolíticas produce unos efectos de polarización en los iones de la solución.

Como consecuencia de estos efectos generales, cuando se aplica una corriente eléctrica al organismo humano se producen los siguientes efectos específicos:

- ✓ Efectos primarios o Físico-químicos: Son dos principalmente, el efecto térmico, determinado por la anteriormente vista Ley de Joule; y el efecto químico: se



produce una liberación de iones que se desplazan dando lugar a alteraciones en la permeabilidad de la membrana, variando la composición química de la estructura íntima de los tejidos.

- ✓ Efectos secundarios o fisiológicos: vasodilatación, analgesia y acción excitomotriz.

## CLASIFICACION DE LAS CORRIENTES ELÉCTRICAS

Las corrientes eléctricas pueden clasificarse atendiendo a tres conceptos principalmente: según su forma, su polaridad y su frecuencia (Electroterapia en Fisioterapia, 2ª. Edición, Rodríguez Marín).

<b>Según la Polaridad</b>	
Unidireccionales	Polaridad Alterna

<b>Según la Frecuencia</b>				
Continua o Galvánica				
Baja frecuencia (<1.000 HZ)	Corrientes interrumpidas	Corrientes ininterrumpidas		
Media frecuencia (1000-10.000 HZ)	Corrientes interferenciales			
Alta frecuencia (>10.000 HZ)	D'arsonval	Diatermia	Onda Corta	Microonda

<b>Según la Forma</b>				
Corriente galvánica o continua				
Corriente variable	Interrumpidas	Impulsos rectangulares	Trabert	
			Leduc	
		Impulsos progresivos	Lapicque	
			Lego	
	Ininterrumpidas	Impulsos modulares	Homofarádica	
			Diadinámica	
		Ondulatoria		Aperiódica
		Alterna		
Combinadas	Waterwille			
	Interferenciales			



## **ACOPLAMIENTO ENTRE EL APARATO DE ELECTROTERAPIA Y EL PACIENTE**

### **Normas de Seguridad**

Para la obtención de los mejores resultados en la aplicación de la terapia y la prevención de accidentes eléctricos, el fisioterapeuta debe poseer los conocimientos propios de su currículo y seguir un método en la aplicación de aparatos eléctricos a un paciente. Podemos destacar:

- ✓ La primera valoración que debe realizar el fisioterapeuta es la correcta indicación de la técnica, así como la certeza de que no existe una contraindicación para la terapia, ya sea una contraindicación absoluta o relativa.
- ✓ Debe comprobar antes de cada tratamiento el correcto funcionamiento del aparato y periódicamente de la red eléctrica a la que está conectado, y también las condiciones generales del local donde se va a administrar este tratamiento.
- ✓ Colocar al paciente en la posición correcta para recibir la terapia.
- ✓ Escoger correctamente los electrodos o medio de acoplamiento al paciente, dejando al descubierto la zona a tratar y comprobando el estado de la piel de esa zona, eliminando si fuese necesario sudor, grasa, etc.
- ✓ Escoger el tipo de corriente que se va a administrar, comprobando de nuevo los parámetros de tratamiento.
- ✓ Comprobar con el aparato y de forma suave y lenta, elevar la intensidad hasta llegar a la deseada.
- ✓ Si aparece algún tipo de problema, disminuir la intensidad o desconectar el aparato.
- ✓ Al término de la sesión, disminuir (si fuese necesario, en función del tipo de aparato) la intensidad de forma progresiva.
- ✓ Anotar todas las referencias o incidencias del tratamiento. Llevar el control del número de sesiones, parámetros aplicados en el tratamiento e incidencias.

### **Factores a valorar**

Los peligros de la electroterapia se pueden evitar en su mayor parte mediante el conocimiento de los mismos y de sus medidas generales de protección. Los accidentes eléctricos se producen como un accidente de trabajo o durante una sesión de tratamiento de forma ocasional (solo el 0,03% de los accidentes de trabajo son por electricidad).

En la producción del accidente eléctrico tiene especial importancia el tipo de corriente, así tenemos que:

- ✓ La corriente continua solo provoca efectos excitomotores en la apertura y cierre del circuito, produciendo efectos polares e interpolares, generalmente



quemaduras en el trayecto de la corriente y en las zonas de entrada y salida de la misma.

- ✓ La corriente alterna de baja frecuencia produce sobre todo contracción muscular, quedando minimizados los otros efectos. La máxima peligrosidad corresponde a frecuencias de 50-60 Hz. A medida que la frecuencia aumenta, disminuye el riesgo, hasta que en frecuencias superiores a 1 Mhz ya no hay choque eléctrico.

Otros aspectos que intervienen en la peligrosidad del accidente eléctrico son:

- ✓ El voltaje: normalmente el límite de tolerancia se ha establecido en 300 voltios para la corriente alterna de baja frecuencia y en 500 voltios para la continua; a pesar de ello hay que tener en cuenta que corrientes de bajo voltaje, pueden producir accidentes si las intensidades son altas.
- ✓ La intensidad: con intensidades pequeñas, de pocos miliamperios se suele producir hormigueos. Con 10 miliamperios ya se produce contracción muscular, pudiendo producirse accidente si la contracción impide al accidentado “soltar” el medio que le está transmitiendo la corriente, o si se produce contracción de la musculatura respiratoria. Aparecen quemaduras polares en la corriente continua. Una intensidad entre 80 y 100 miliamperios puede producir fibrilación ventricular, pudiendo llegar a ser mortal, según el trayecto y duración. Una intensidad por encima de los 100 miliamperios produce depresión del sistema nervioso, con muerte aparente.
- ✓ Resistencia cutánea: hay que tener en cuenta que la piel húmeda ofrece una resistencia 10 veces mayor, y ello puede provocar accidentes eléctricos.

Densidad eléctrica: es la relación entre la intensidad de corriente y la superficie que sirve de puerta de entrada de la corriente. Por ello es fundamental intentar evitar quemaduras colocando unos electrodos con la superficie adecuada a la corriente e intensidad que vamos a suministrar. Los síntomas que provoca un accidente eléctrico pueden ser:

- ✓ Síntomas locales: afectan a la zona de contacto produciendo quemaduras electrolíticas. También las masas musculares se sobrecalientan, con liberación de pigmentos, que pueden llevar a una alteración renal. También fracturas óseas o de vasos sanguíneos se pueden producir de manera local por exceso de corriente eléctrica.
- ✓ Síntomas generales: afectación cardíaca, de la musculatura respiratoria, neurológicas (desde visión borrosa hasta edema cerebral o coma), psíquicos (aturdimiento, amnesia) e, incluso, la muerte.

El tratamiento de las afecciones puede ser médico o quirúrgico, dependiendo de la importancia de los mismos. En algunos casos, el tratamiento inmediato requiere lucha contra la apnea y el shock.

## CORRIENTES UTILIZADAS EN ELECTROTERAPIA

Por causa de la gran variedad 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 se podrían agrupar del siguiente modo (Electroterapia en Fisioterapia, 2ª. Edición, Rodríguez Marín):

**Según efectos sobre el organismo:** Efectos Electroquímicos, Efectos motores sobre nervio y músculo, Efectos sensitivos sobre nervio sensitivo y Efectos por aparte energético para mejorar el metabolismo

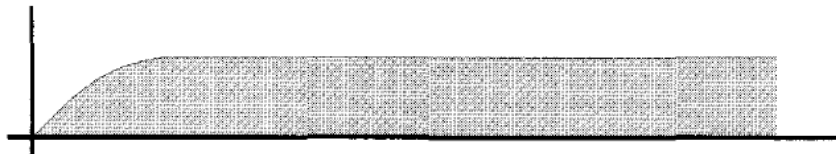
**Según los modos de aplicación:** Pulsos aislados, Trenes o ráfagas, Aplicación mantenida o frecuencia fija y Corrientes con modulaciones.

**Según las 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 considera radiaciones ionizantes no utilizadas en esta parte de electroterapia. Baja Frecuencia de 0 a 1.000Hz, Media Frecuencia de 1.000 a 500.000Hz (utilizadas desde 2.000 a 10.000Hz), Alta frecuencia de 500.000Hz hasta el límite entre los ultravioletas de Tipo B y C

### Según las formas de onda

Dado que las formas de ondas son múltiples, las agruparemos en siete grandes apartados (Electroterapia en Fisioterapia, 2ª. Edición, Rodríguez Marín):

1. De flujo constante y mantenida la polaridad (Galvánica o corriente continua)  
Galvánica o corriente continua.

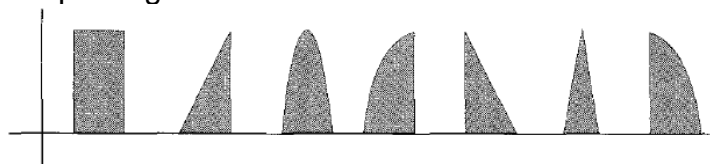


Consiste en aplicar corriente continua al organismo y hacerlo subir lentamente la intensidad y manteniendo dicha intensidad sin alteración alguna, al mismo tiempo que no se hace variar la polaridad durante toda la sesión. Esto implica que los electrones van a entrar en la materia viva por el electrodo 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 periodo, pero es más adecuado atribuirle la cualidad de la frecuencia infinita.

**2. De flujo interrumpido y mantenida la polaridad (Interrumpidas Galvánicas)**

Cuando se aplica una corriente galvánica de forma que se mantiene la polaridad establecida desde el principio, se hacen interrupciones en su intensidad, se denominan interrumpidas galvánicas.



Al provocar interrupciones o reposos, van a quedar dibujados los momentos de aplicación, que, según la velocidad con que se produzcan dichas variaciones de intensidad, gráficamente se puede representar de distintas formas: impulsos. Este grupo de corriente es el más clásico de la electroterapia de baja frecuencia.

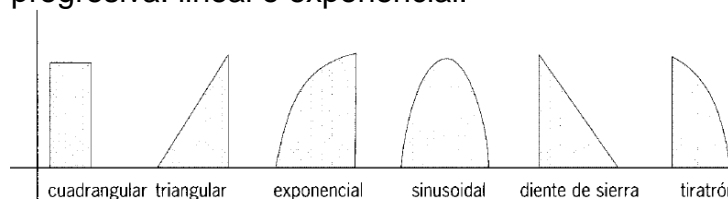
**Impulsos**

Son muchas las formas de los impulsos a estudiar.

a. Forma (Cuadrangular, triangular, sinusoidal, exponencial, diente de sierra, tiratrón, entre otras)

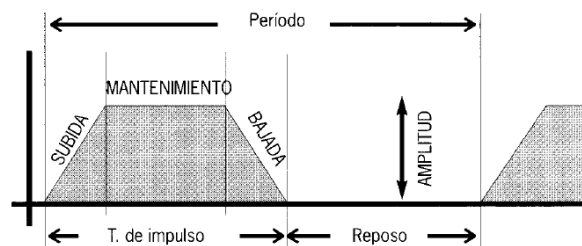
Amplitud: Altura máxima del impulso.

Subida: rápida, progresiva: lineal o exponencial.



Mantenimiento: Valor coincidente con la máxima amplitud del impulso.

Caída: Rápida, Progresiva: lineal, exponencial o parábola invertida.



b. Tiempos de duración del impulso



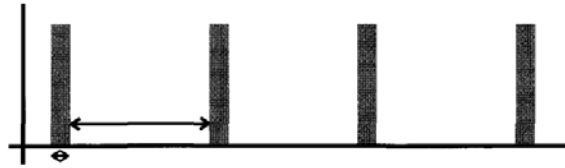
Total del impulso (t. de imp.); de subida (t.S); de mantenimiento (t.M); de bajada (t.B).

c. Tiempo de reposo entre impulsos

A los reposos se da solamente el parámetro del tiempo que duran.

d. Periodo

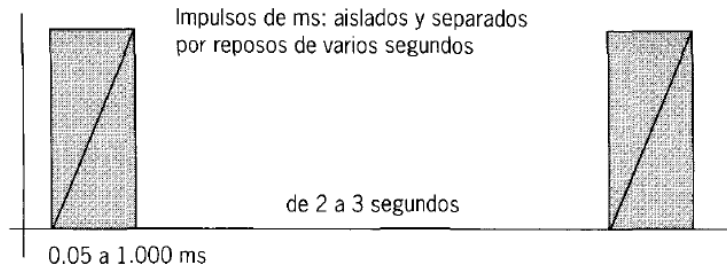
Combinando los tiempos de los distintos impulsos con los tiempos de los reposos, de manera que, sumando el tiempo de un impulso más un reposo, se obtiene el período y con el período, se pueden hallar la frecuencia de repetición por cada segundo.



Las corrientes formadas por interrumpidas galvánicas normalmente abarcan una banda de frecuencias de 1 a cerca de 1.000 Hz o, o lo que es igual, baja frecuencia; se destinarán a estimular el sistema muscular y al sistema nervioso.

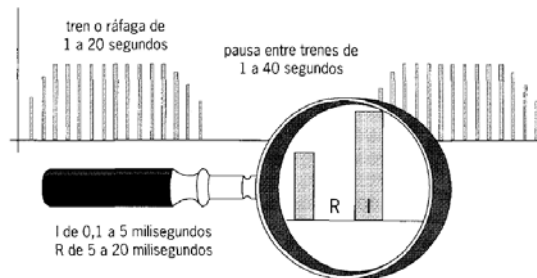
### *Impulsos aislados*

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



### *Trenes*

Impulsos agrupados en ráfagas (faradización).



### *Aplicación mantenida*

Impulsos con sensación de repetición (siempre con la misma frecuencia)





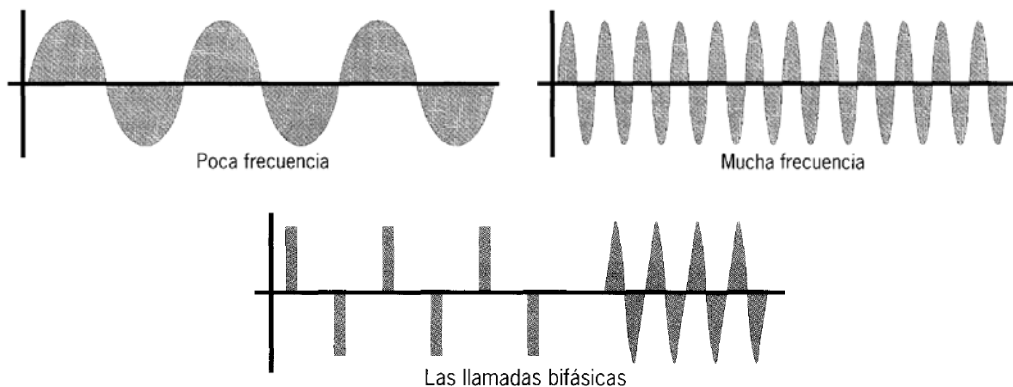
### *Barridos de Frecuencia*

Impulsos entre reposos que cambian de duración constantemente y según unas determinadas cadencias (moduladas en frecuencia o aperiódicas de Adams cuando los pulsos son cuadrangulares y polarizados).



### 3. De flujo constante e invertida la polaridad

Alternas:



Si se aplica sin interrupciones una corriente eléctrica, con alternancias rítmicas en su polaridad, se obtiene una serie de corrientes llamadas alternas, en las que sus parámetros suelen ser repetitivos y homogéneos, tanto en su frecuencia, forma de onda, iguales tiempos de duración entre las distintas ondas, sin variaciones de intensidad, etcétera.

El parámetro más importante es la frecuencia, que puede oscilar desde 1Hz (o menos 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.

A continuación se presentan las principales formas que se están utilizando:



a. Baja frecuencia de 0 a 1.000Hz

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

b. Media frecuencia de 1.000 a 500.000Hz (utilizados desde 2.000 hasta 10.000Hz)

Aprovechando que, al aumentar la frecuencia, los tejidos disminuyen su impedancia (resistencia al paso de la corriente con variaciones en sus parámetros), se aplican corriente alterna con frecuencia típica de 4.000Hz (regulable entre 2.000 y 10.000Hz) sobre los circuitos distintos que se cruzan para obtener una nueva frecuencia más baja.

c. Alta frecuencia de 500.000Hz hasta el límite entre los ultravioletas de tipo B y C.

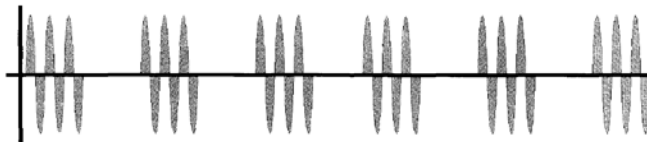
La alta frecuencia se caracteriza por sus efectos calóricos sobre los tejidos de la materia viva. Tejidos que se convierten en bastante buenos conductores de estas corrientes, dada la baja impedancia presentada. Tanto esta banda de la alta frecuencia como las radiaciones infrarrojas y luz se convierten en las principales herramientas de aporte energético al organismo.

Las formas hasta ahora utilizadas, basadas en las distintas frecuencias, que no en otras modalidades, son: D'Arsonval: 0.5 a 1MHz, Diatermia: alrededor de 10MHz, Onda Corta: 27MHz, Onda Corta: 40MHz, Ultracorta: 430MHz, Microondas: 900MHz y Microondas: 2.450MHz (Radarterapia)

La expresión diatermia suele utilizarse como concepto genérico de termoterapia en profundidad.

4. De flujo interrumpido e invirtiendo la polaridad

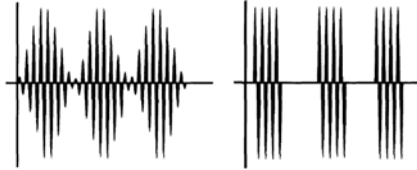
Interrumpidas alternas:



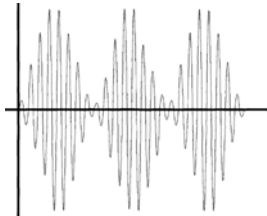
En el grupo anterior, la polaridad se invertía (igual que ahora) y el “vaivén” o flujo de corriente se mantenía constante, mientras que a éstas les vamos a hacer interrupciones o espacios en la aplicación de la corriente, dando como consecuencia “paquetes, pulsos o trenes de ondas” alternas seguidas de reposos más o menos largos con el fin de conseguir la corriente que se desea. Las corrientes que se obtiene así son de relativa y reciente aplicación en la electroterapia, y se encuentran en los pequeños electroestimuladores del sistema nervioso sensitivo (TENS), con fines analgésicos. También se hallan en la gama y distintas modalidades de magnetoterapia, formando trenes.

### 5. Modulando la amplitud

Interferenciales y otras de media frecuencia:

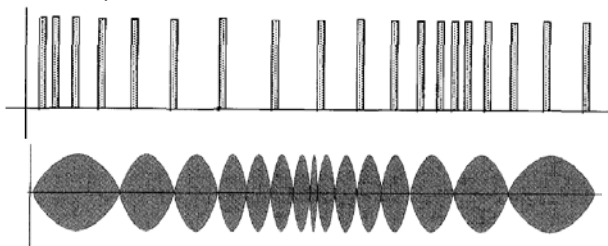


Corrientes (normalmente de media frecuencia) donde las ondas (positiva y negativa) oscilan simultáneamente, aumentan y disminuyen de amplitud a la par y en el mismo instante. Este fenómeno se produce por la mezcla o suma de dos circuitos eléctricos, por la interferencia de dos ondas alternas de distintas 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. El contorno formado por los picos de las ondas pequeñas (de media frecuencia) compondría las ondas mencionadas anteriormente.



### 6. Modulando la frecuencia

Barridos de frecuencia con interrumpidas galvánicas o modulaciones de media frecuencia (interferenciales):

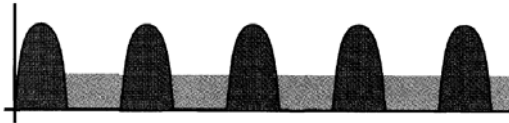


Son corrientes en las que el aparato se programa de tal manera, que generan unos impulsos a una frecuencia variable entre dos límites. La aplicación consiste en someter al organismo a barridos entre dos frecuencias, con el fin de que, durante algunos instantes, se aplique la frecuencia óptima para conseguir el efecto deseado a la vez que se evita la acomodación (acostumbramiento) del sistema nervioso.

### 7. Aplicación simultánea de dos o más corrientes

Ejemplos de esta modalidad se pueden encontrar en:

- ✓ Diadinámicas con base de galvánica:



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

### **Diseño y Elaboración del Circuito Generador de Las Formas de Onda de Corriente para Electroterapia**

La electroterapia es una vía eficiente empleada mundialmente como tratamiento para el alivio del dolor, el fortalecimiento muscular, la inserción de sustancias medicamentosas (iontoforesis), la aceleración de la curación de heridas y úlceras, entre otras aplicaciones. Mediante esta técnica, se aplican al paciente estímulos eléctricos con características especiales organizados en protocolos.

El uso de la estimulación eléctrica con fines terapéuticos se encuentra ampliamente extendido al nivel mundial por su demostrada eficacia y por las ventajas que reporta, entre ellas la carencia de efectos secundarios y la sustitución de sustancias químicas medicamentosas. Existe en el mercado una amplia diversidad de estimuladores eléctricos, capaces de aplicar al paciente estímulos eléctricos con parámetros controlados y con niveles de seguridad adecuados.

La electroestimulación neuromuscular, se aplica en:

#### **Rehabilitación Médica**

- Para prevención de la atrofia muscular durante periodos largos de inmovilización.
- Para el tratamiento de la atrofia.
- Para conseguir una mayor estabilidad articular.
- Para el tratamiento de contracturas musculares.
- Para el tratamiento de la espasticidad.
- Para el tratamiento del dolor.

#### **En el Deporte**

- Para la recuperación muscular después de realizar un ejercicio intenso.
- Para aumentar la fuerza muscular.
- Para aumentar la resistencia a la fatiga.



- Para aumentar la intensidad del esfuerzo que se puede hacer durante un tiempo determinado.
- Para mejorar la elasticidad muscular.

En la Estética

- Para reafirmación muscular.
- Para tonificación muscular.
- Para tratamientos de lipólisis.
- Para tratamientos anticelulitis.

Para el diseño de este circuito se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

Los parámetros que intervienen en la estimulación muscular son:

**A) En relación con la técnica de aplicación y la constitución de la persona que se estimula:**

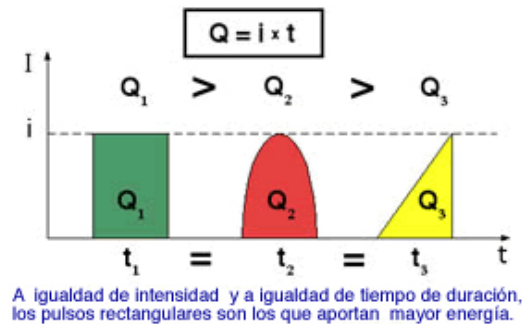
- La impedancia o suma de resistencias que se oponen al paso de la corriente: Así, la piel es la parte corporal que más se opone al paso de la corriente eléctrica, los músculos son mejores conductores que el tejido graso y, por último, los músculos, son cuatro veces mejores conductores cuando el paso de la corriente se hace en el sentido longitudinal de sus fibras, que cuando se hace en el sentido transversal.
- El tamaño y la orientación de los electrodos, puesto que influyen sobre la densidad de corriente: La densidad de corriente es máxima en la transición entre los electrodos y la piel y tiende a decrecer con la distancia desde los electrodos a los tejidos al ir expandiéndose el flujo eléctrico. Si los electrodos están muy próximos, la estimulación es más superficial que cuando los electrodos están más separados. A mayor superficie de electrodo menor densidad de corriente y menor capacidad para producir la despolarización del nervio. Por tanto, un electrodo será más activo si disminuimos su superficie y lo situamos lo más próximo posible al nervio o al punto motor. Del mismo modo, el electrodo indiferente, deberá ser lo más grande posible para disminuir la densidad de corriente sobre los tejidos vecinos.

**Características técnicas del equipo de electroestimulación:**

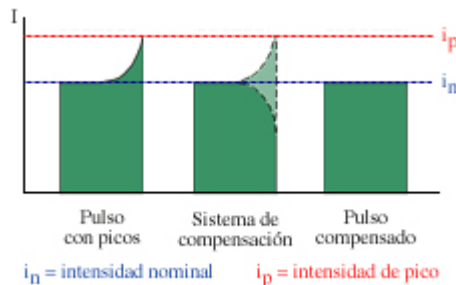
- La forma de onda: Es el primer elemento que se consideró a la hora de determinar la bondad de un equipo de electroestimulación, tal y como se explica a continuación.

La cantidad de energía necesaria para provocar una contracción muscular, viene definida por la fórmula  $Q=I \times T$ , en donde I es la intensidad y T el tiempo.

Cuanto mayor sea intensidad menos confortable es la estimulación y cuanto menor sea la intensidad menos fibras musculares se pueden reclutar. Por tanto, la forma de onda ideal, será aquella que sea capaz de suministrar la mayor cantidad de energía con la menor intensidad posible. Obviamente, se está indicando de una forma de onda rectangular.



Se tuvo en cuenta, que al producir la alternancia de los pulsos se producen "picos de corriente" que pueden llegar a ser de hasta de un 50% del valor de la intensidad nominal. Esto, quiere decir que, aunque teóricamente se trabaja a una intensidad  $I_n$ , la intensidad de pico es mucho mayor, produciendo una estimulación poco confortable.



- Frecuencia de los impulsos: Conforme se aumenta la frecuencia, se obtienen contracciones cada vez más rápidas, con un periodo de relajación menor, y llegado un determinado momento, la frecuencia de los estímulos impide que se produzca la relajación muscular y las respuestas musculares, antes individualizadas, parecerán ahora como continuas, denominándose contracciones tetánicas. La tensión desarrollada durante una contracción tetánica es, aproximadamente, cuatro veces superior a la de una contracción simple individual.

- 1 a 3 Hz. Efecto analgésico, relajante y reductor de la tensión muscular.
- 4 a 10 Hz. Aumenta la actividad metabólica y estimula la recuperación.
- 10 a 20 Hz. Aumentan la capacidad de esfuerzo.
- 20 a 33 Hz. Activa las fibras lentas y mejora su resistencia a la fatiga.

33 a 50 Hz. Activa fibras intermedias (IIa) mejorando su resistencia.

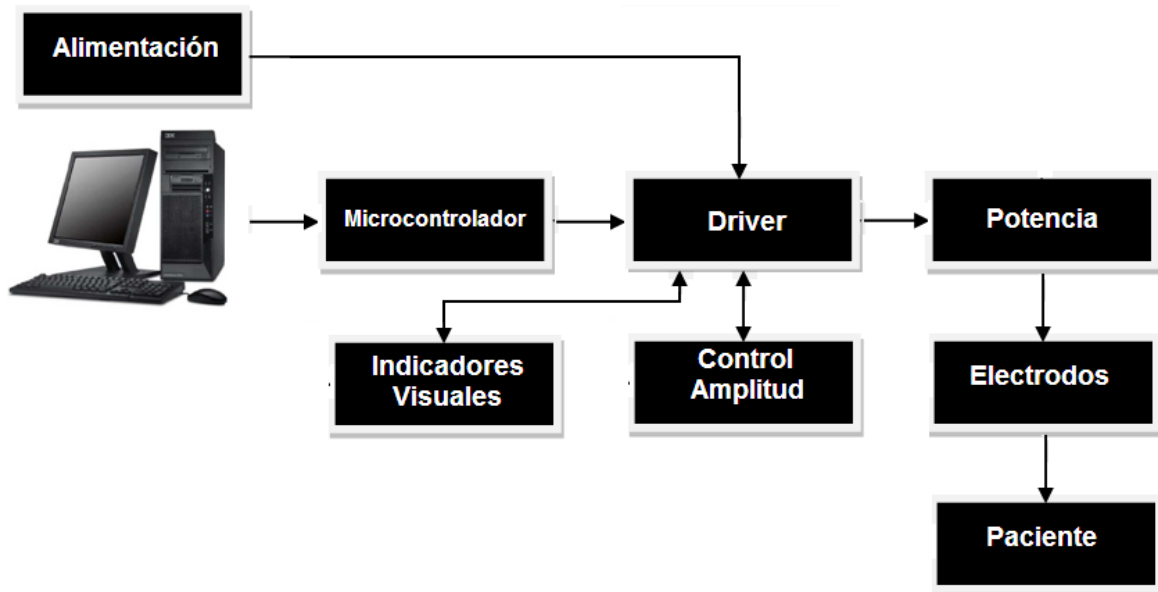
50 a 75 Hz. Activa las fibras intermedias (IIb) aumentando la fuerza, la resistencia y la hipertrofia muscular.

75 a 120 Hz. Activa las fibras rápidas a un nivel máximo mejorando la fuerza y la explosividad.

### Diagrama a bloques

La generación de las ondas se realiza en el microcontrolador dependiendo de la frecuencia de cada uno de los programas; esta señal generada por el microcontrolador es enviada al circuito que va a amplificar para dar la potencia necesaria para transmitirla al paciente.

Para generar la electroestimulación al paciente se implementó el siguiente diagrama a bloques:



#### Alimentación:

La Fuente de Alimentación genera las diferentes tensiones de alimentación para el funcionamiento de los bloques analógicos y digitales; garantiza también el aislamiento eléctrico entre los canales al generar tensiones de alimentación duplicadas para los mismos. Garantiza igualmente las especificaciones médicas de seguridad para el paciente en lo que respecta a la rigidez dieléctrica.





Microcontrolador:

Dispositivo electrónico, el cual contiene un software embebido que tiene como función generar todas las señales de electroterapia.

Driver:

Esta conformado por transistores, que tiene como función conmutar la señal que es generada por el microcontrolador para controlar la potencia que va hacer entregada al paciente.

Control de Amplitud:

También aparece un bloque de Control de Amplitud o Intensidad. Esta etapa está gobernada directamente por un potenciómetro, permite variar dinámicamente el nivel de estimulación eléctrica que va a hacer enviada al paciente; esta amplitud se ve identificada en la intensidad de un led.

Indicadores visuales:

Se tienen dos indicadores visuales. El primero tiene como función visualiza por medio de un led la señal generada por el microcontrolador y el segundo tiene como función indicar la intensidad de la corriente que pasa por el cuerpo.

Potencia:

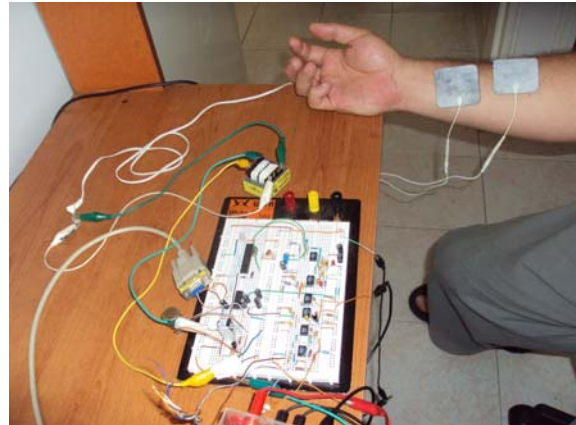
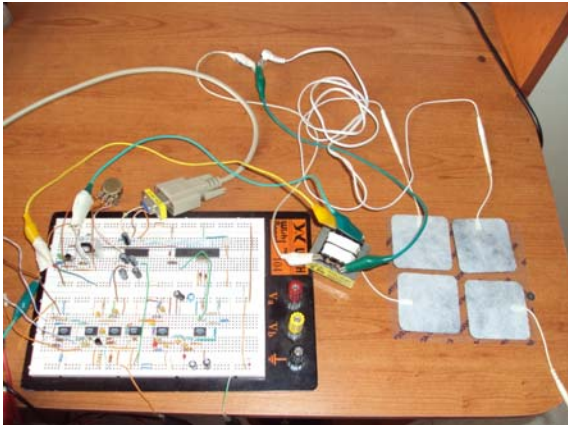
Tiene como función elevar el voltaje a 80 Voltios, con el fin de romper el umbral de la alta resistencia de la piel del cuerpo humano y mantener una corriente no mayor a 120 miliamperios, lo cual no se podría lograr con un voltaje de valor pequeño. El amplificador de potencia de salida en el canal de estimulación presenta una configuración de Fuente de Corriente. Esto hace que el valor de intensidad de corriente eléctrica de estimulación se mantenga constante a pesar de que ocurran cambios en la impedancia de la piel del paciente. Estos cambios pueden tener como posible causa el tipo de piel, grado de resequedad y de sudoración, entre otros factores.

Electrodos:

Los electrodos utilizados son de carbono cuadrados, auto adherente, con una medida de 5 cm x 5 cm. Estos electrodos son reutilizables de tejido suave y flexible con hidrogel adhesivo. Contiene latiguillo incorporado para conexión 2 mm hembra. Como se muestran a continuación:

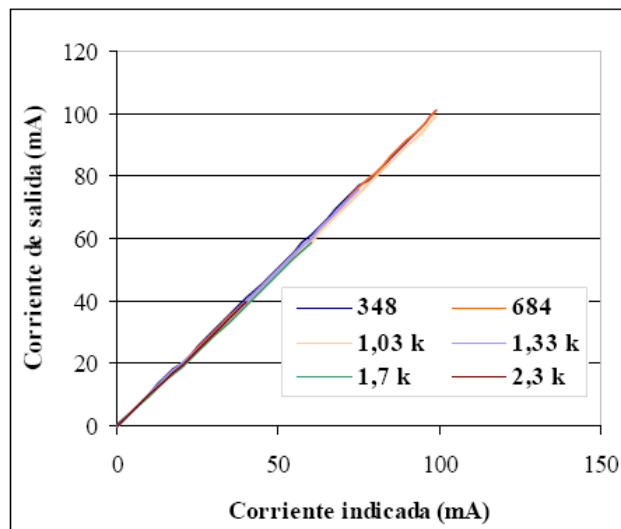


A continuación se presentan imágenes del montaje del protoboard del circuito de Electroterapia, los elementos utilizados fueron el circuito electrónico, electrodos y cable de paciente:



El funcionamiento eléctrico se comprobó para cada uno de los tratamientos, con todas las configuraciones posibles de sus parámetros, y se encontró una exactitud siempre mejor del 97 %.

Se evaluó el comportamiento de los amplificadores de potencia del canal de estimulación para diferentes valores de resistencia de carga, las curvas obtenidas se muestran en la siguiente Figura:



Comportamiento de la intensidad del estímulo eléctrico contra el valor indicado como referencia en el panel frontal del equipo, para diferentes valores de impedancia de carga. Obsérvese la linealidad y el comportamiento típico.



Nótense la tendencia a la linealidad y el marcado comportamiento como fuente de corriente ante variaciones importantes en la resistencia de carga. El funcionamiento en condición de cortocircuito para intensidad de estimulación máxima durante cinco minutos no introdujo deterioro alguno en el funcionamiento del circuito electrónico de fuente de corriente que exhiben las curvas.

## **Contraindicaciones**

La estimulación muscular con corrientes de baja frecuencia, tiene escasas contraindicaciones. No obstante, el usuario, debe siempre tener en cuenta unas medidas mínimas de seguridad y las precauciones lógicas que requiere la utilización de este tipo de aparatos.

En el apartado de contraindicaciones, es importante saber:

- La electroestimulación, no debe utilizarse en personas portadoras de marcapasos.
- La electroestimulación, no debe utilizarse en mujeres embarazadas.
- La electroestimulación, no debe utilizarse en personas con enfermedades cancerígenas.
- No utilizar en personas diabéticas o epilépticas
- No utilizar en personas con trombosis, tromboflebitis o varices
- No aplicar nunca la estimulación transcerebral.

## **Medidas de Seguridad**

- No utilizar en pacientes con enfermedades cardiacas sin hacer una evaluación clínica de los riesgos.
- No utilizar en pacientes enfermos de epilepsia sin hacer una evaluación clínica de los riesgos.
- La estimulación eléctrica sobre la caja torácica puede provocar arritmias.
- La estimulación eléctrica sobre la nuca puede producir calambres musculares en la laringe y en la faringe, así como dificultades respiratorias cuando se colocan los electrodos hacia la boca.
- No aplicar los electrodos sobre zonas en las que exista eritemas, dermatitis o varices.
- No aplicar los electrodos sobre la zona lateral ni delantera del cuello, senos carotideos ni globo ocular.
- Mantener una vigilancia especial en los siguientes casos: cuando exista peligro de hemorragia interna después de un accidente o de una fractura, inmediatamente después de una intervención quirúrgica, cuando una fuerte contracción muscular pueda interrumpir el proceso de curación, cuando exista



una pérdida de sensibilidad normal en la piel, cuando la estimulación se realice con menores de diez años.

- Aplicar el tratamiento alejados al menos un metro, de equipos de onda corta y microondas.

### **Precauciones**

- No quite ni mueva los electrodos con el equipo encendido
- No aplique el tratamiento dentro del agua ni en zonas con exceso de humedad, como saunas, etc.
- No aplique el tratamiento mientras manipula herramientas o conduce.
- No tire de los cables para desconectarlos.
- Mantenga el equipo lejos del alcance de los niños.

### **Software Embebido para el Control del Circuito Generador de Corriente de las Formas de Ondas para Electroterapia**

Para el software embebido se utilizó un microcontrolador de Microchip de la gama PIC16F; para su programación se utilizó el programa MPLAB. MPLAB es un editor IDE gratuito, destinado a productos de la marca Microchip. Este editor es modular, permite seleccionar los distintos microprocesadores soportados, además de permitir la grabación de estos circuitos integrados directamente al programador. Es un programa que corre bajo Windows y como tal, presenta las clásicas barras de programa, de menú, de herramientas de estado, etc. El ambiente MPLAB® posee editor de texto, compilador y simulación. El software embebido para la aplicación de Electroterapia comprende los siguientes programas, tiempo de aplicación y tiempo Ton y Toff respectivamente.

Las características principales que posee el dispositivo utilizado de la gama 16F son:

- CPU de arquitectura RISC (*Reduced Instruction Set Computer*).
- Set de 35 instrucciones.
- Frecuencia de reloj de hasta 20MHz (ciclo de instrucción de 200ns).
- Todas las instrucciones se ejecutan en un único ciclo de instrucción, excepto las de salto.
- Hasta 8K x 14 palabras de Memoria de Programa FLASH.
- Hasta 368 x 8 bytes de Memoria de Datos tipo RAM.
- Hasta 256 x 8 bytes de Memoria de Datos tipo EEPROM.
- Hasta 15 fuentes de Interrupción posibles.
- 8 niveles de profundidad en la Pila hardware.
- Modo de bajo consumo (Sleep).



- Tipo de oscilador seleccionable (RC, HS, XT, LP y externo)
- Rango de voltaje de operación desde 2,0V a 5,5V.
- Conversor Analógico/Digital de 10 bits multicanal
- 3 Temporizadores.
- Watchdog Timer o Perro Guardián.
- 2 módulos de captura/comparación/PWM.
- Comunicaciones por interfaz USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter).
- Puerto Paralelo Esclavo de 8 bits (PSP).
- Puerto Serie Síncrono (SSP) con SPI e I<sup>2</sup>C.

Detalles según modelo:

- Modelo: PIC16F873A
- Memoria de programa Flash (palabras de 14 bits): 4096
- Memoria de datos SRAM (bytes): 192
- Memoria de datos EEPROM (bytes): 128
- Líneas de E/S: 22
- Canales A/D: 5
- PWM: 5
- MSSP: SPI: Si; I<sup>2</sup>C Maestro: Si
- USART: Si
- Comparadores: Si (2)

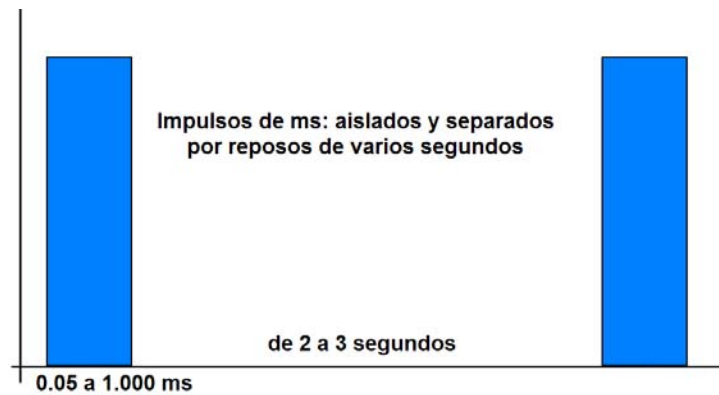
La Unidad de Control Central está constituida esencialmente por un microcontrolador. Tiene a su cargo las tareas de atención a la sección de Interfaz de Usuario, la configuración de los Generadores de Formas de Onda y el conteo del tiempo de los tratamientos. La comunicación con los Generadores de Formas de Onda y con el bloque de Interfaz de Usuario es bidireccional; mientras que el gobierno del bloque de Control de Amplitud o Intensidad se realiza de modo unidireccional.

De igual manera es el facultado de Generar las Formas de Onda, es decir, el encargado de generar los complejos estímulos eléctricos que conforman el grupo de tratamientos. Paciente. Está constituido esencialmente por un microcontrolador con una frecuencia de reloj de 20 MHz. A través de la Interfaz de Usuario (Software Computador Personal) el operador del equipo puede seleccionar, configurar, iniciar y controlar la intensidad de cualquiera de los tratamientos incluidos. Está compuesta por dos LEDs de indicación.

## PROGRAMAS DE ELECTROTERAPIA

A continuación se presentan las formas de ondas implementadas en el software embebido:

### Impulsos Aislados

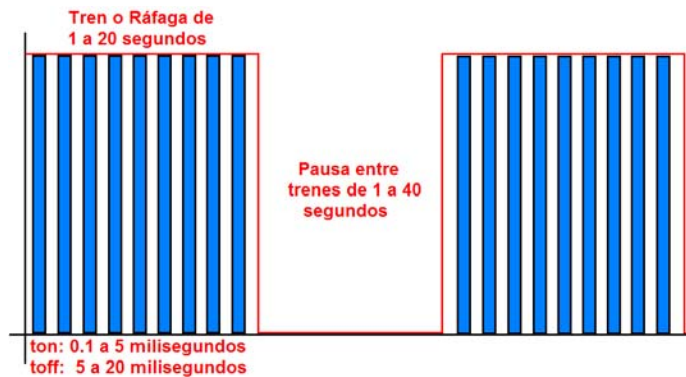


Impulsos aislados entre reposos muy largos. Electroestimulación motora con impulsos cuadrangulares o de subida progresivos. A continuación se presentan los tiempos de Ton y Toff para este tipo de forma de onda:

Ítem	TON	TOFF
	Tiempo (mseg)	Tiempo (seg)
1	0,05	2
2	0,1	2,05325
3	0,15	2,1065
4	0,2	2,15975
5	0,25	2,213
6	0,3	2,26625
7	0,35	2,3195
8	0,4	2,37275
9	0,45	2,426
10	0,5	2,47925

Ítem	TON	TOFF
	Tiempo (mseg)	Tiempo (seg)
11	0,55	2,5325
12	0,6	2,58575
13	0,65	2,639
14	0,7	2,69225
15	0,75	2,7455
16	0,8	2,79875
17	0,85	2,852
18	0,9	2,90525
19	0,95	2,9585
20	1	3,012

### Trenes

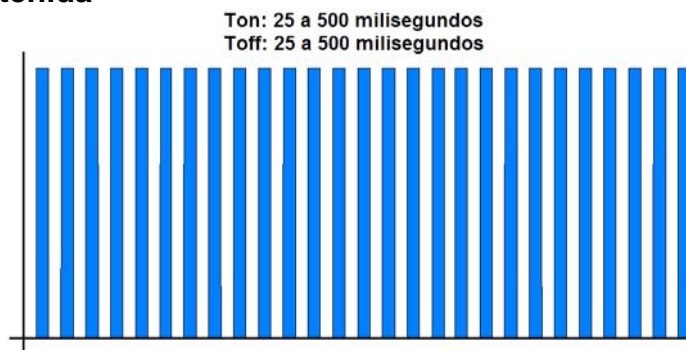


Impulsos agrupados en ráfagas. A continuación se presentan los tiempos de Ton y Toff para este tipo de forma de onda:

Ítem	TREN 1		TREN 2	
	TON	TOFF	TON	TOFF
	Tiempo (mseg)	Tiempo (mseg)	Tiempo (seg)	Tiempo (seg)
1	0,258	1	1	2
2	0,51675	2	2	4
3	0,77485	3	3	6
4	1,03295	4	4	8
5	1,29105	5	5	10
6	1,54915	6	6	12
7	1,80725	7	7	14
8	2,06535	8	8	16
9	2,32345	9	9	18
10	2,58155	10	10	20

Ítem	TREN 1		TREN 2	
	TON	TOFF	TON	TOFF
	Tiempo (mseg)	Tiempo (mseg)	Tiempo (seg)	Tiempo (seg)
11	2,83965	11	11	22
12	3,09775	12	12	24
13	3,35585	13	13	26
14	3,61395	14	14	28
15	3,87205	15	15	30
16	4,13015	16	16	32
17	4,38825	17	17	34
18	4,64635	18	18	36
19	4,90445	19	19	38
20	5,16255	20	20	40

### Aplicación Mantenido



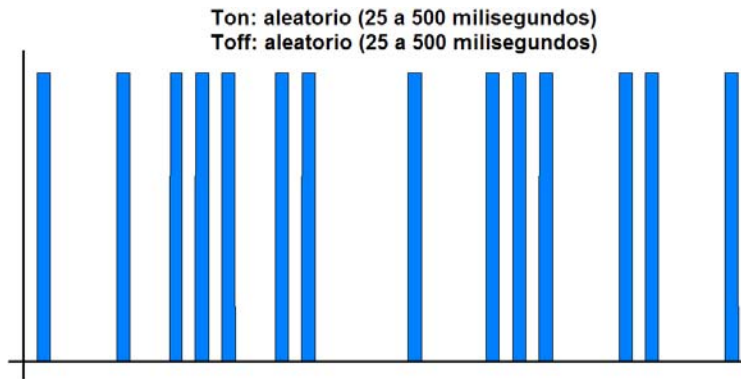


Impulsos con sensación de repetición (siempre con la misma frecuencia). A continuación se presentan los tiempos de Ton y Toff para este tipo de forma de onda:

Ítem	TON = TOFF	TON = TOFF
	Tiempo (mseg)	Tiempo (mseg)
1	25	25
2	50	50
3	75	75
4	100	100
5	125	125
6	150	150
7	175	175
8	200	200
9	225	225
10	250	250

Ítem	TON = TOFF	TON = TOFF
	Tiempo (mseg)	Tiempo (mseg)
11	275	275
12	300	300
13	325	325
14	350	350
15	375	375
16	400	400
17	425	425
18	450	450
19	475	475
20	500	500

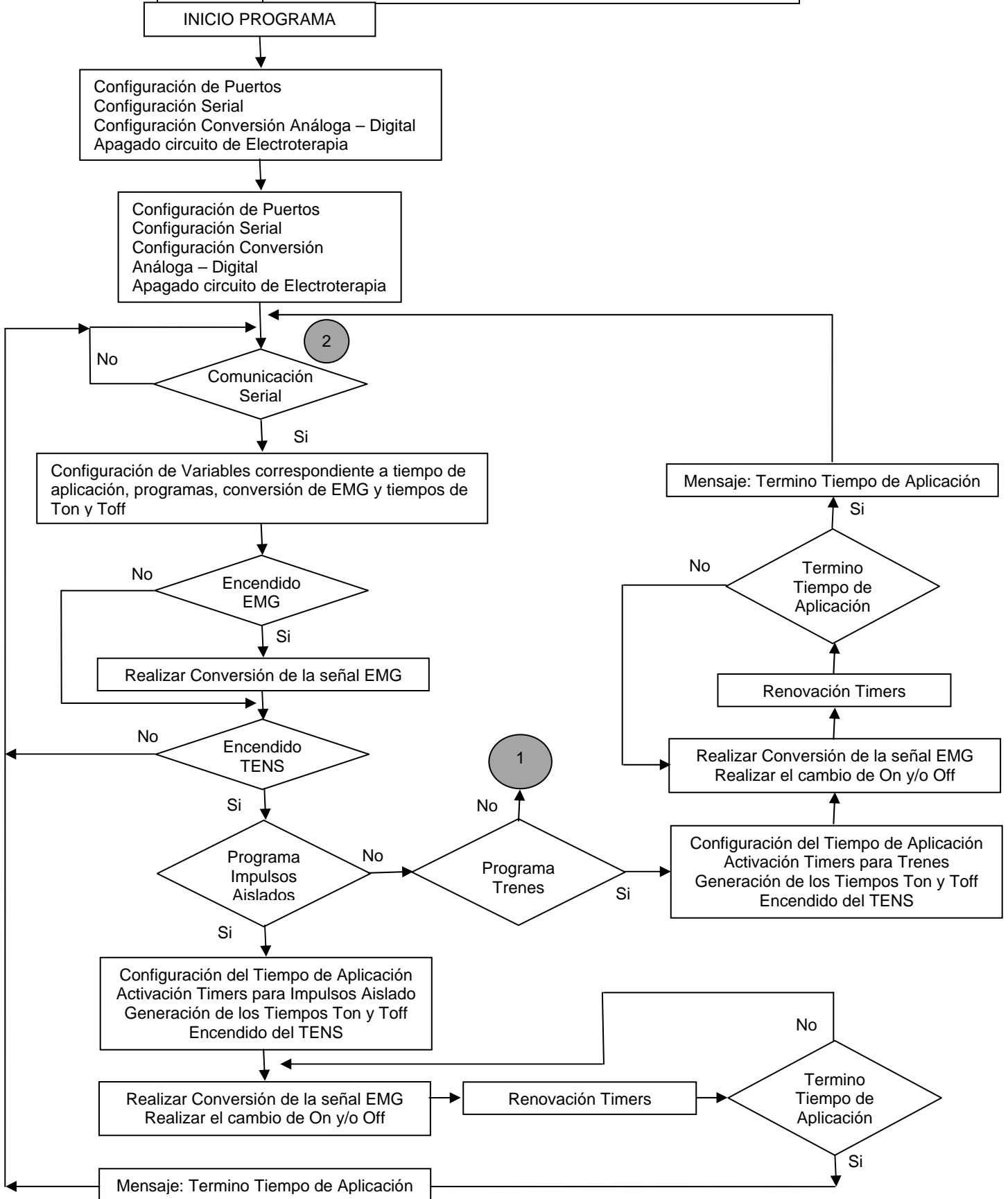
### Barridos de Frecuencia

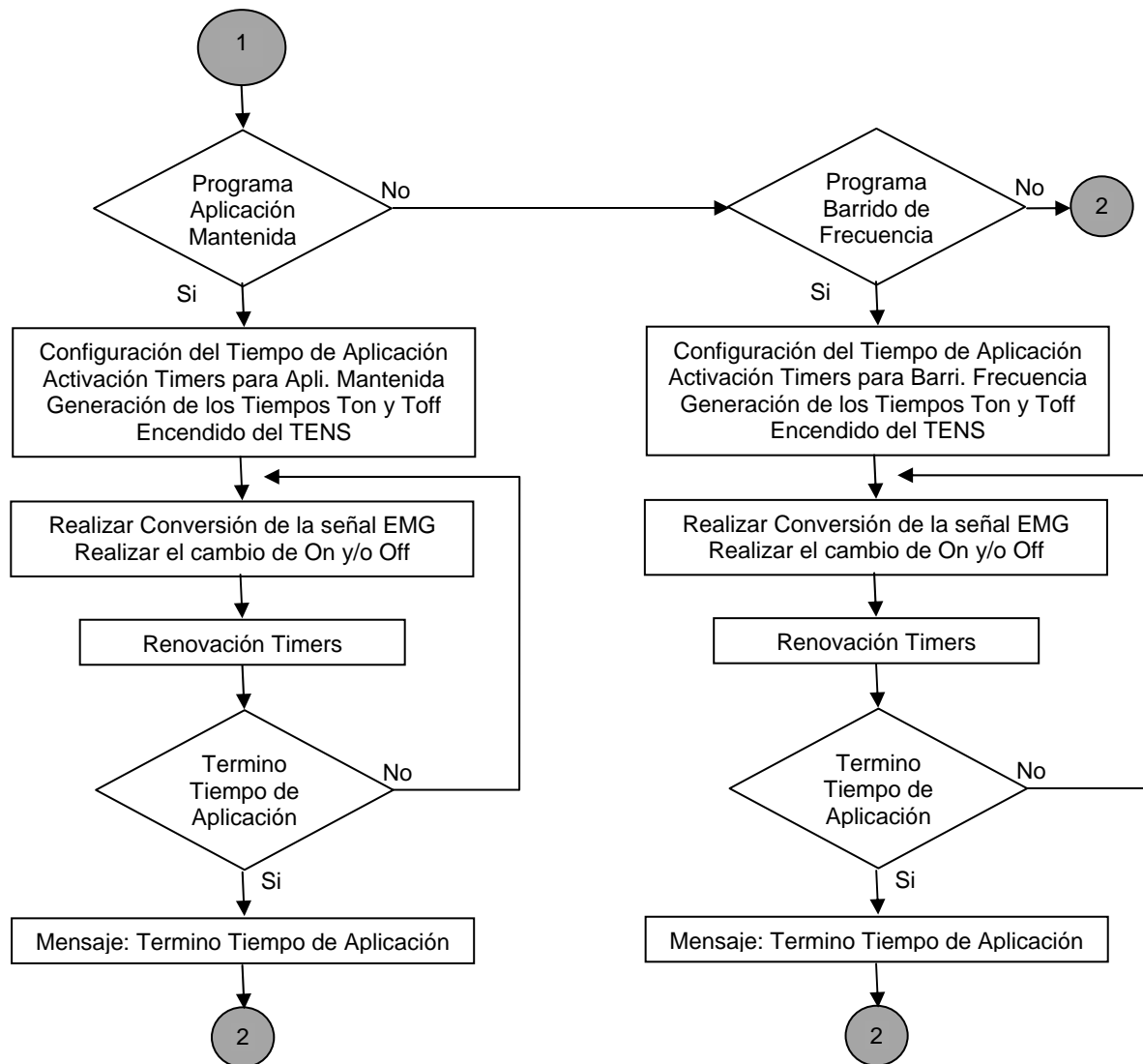


Impulsos entre reposos que cambian de duración constantemente y según una determina cadencia. El tiempo para este tipo de programa es aleatorio.

### DIAGRAMA DE FLUJO

Para el control del circuito de Electroterapia se utilizó el siguiente diagrama a bloques:





Para ampliar la información, puedes enviar un e-mail a:

[alexismeneses@dalcame.com](mailto:alexismeneses@dalcame.com)  
[daissytozo@dalcame.com](mailto:daissytozo@dalcame.com)