



Estimulación Eléctrica a Nivel Muscular

Natacha Reyes¹

1

Email: Natacha Reyes - natacha.reyes[en]gmail[.]com;

Resumen

Fundamento - Existe una creciente utilización de la estimulación eléctrica a nivel fisioterapéutico, ya sea debido a lesiones medulares, enfermedades neurológicas o como complemento en tratamientos de fortalecimiento muscular.

Metodología - Se investigará acerca de la implementación de sistemas para la estimulación muscular, consideraciones de diseño y sus resultados.

Resultados - Para definir el diseño de un equipo de estimulación eléctrica, es necesario considerar el tipo de electrodo a utilizar, forma de onda a ser aplicadas y fundamentalmente sus prestaciones eléctricas, tomando en cuenta las reacciones del individuo frente a la corriente, tensión y frecuencias a ser aplicadas en el tratamiento. En algunas instancias es necesario cuantificar los resultados logrados en el paciente con la terapia aplicada. Para ello, se utilizan instrumentos de medida que deben cumplir con la normativa de instalaciones hospitalarias. Como aplicación, se describe un equipo para la evaluación del tratamiento con estimulación eléctrica, aplicado a pacientes espásticos y sus prestaciones.

1. Introducción

En el marco de la fisioterapia, la provocación artificial de contracciones musculares mediante estimulación eléctrica, puede tener varios objetivos [1] :

- Tonificación de la musculatura
- Mejora del riego sanguíneo

- Recuperación de la sensibilidad muscular
- Relajación de la musculatura
- Obtención de información en la excitabilidad eléctrica de fibras nervios motoras y el tejido muscular
- Impedimento de la atrofia y prevención de fibrosis del tejido muscular
- Aumento del alcance de los movimientos mediante estiramiento de la musculatura

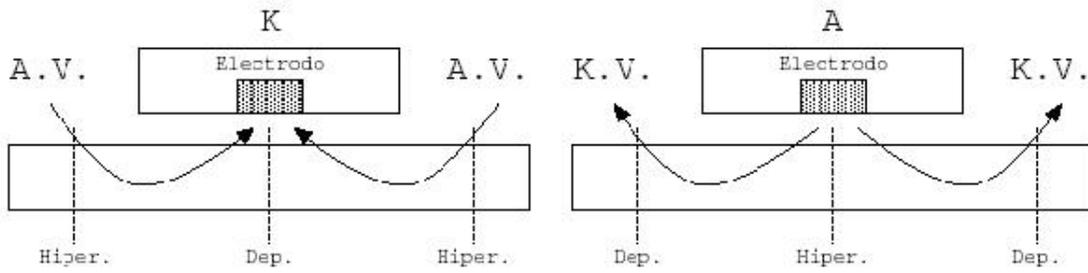
Para implementar un sistema de estimulación eléctrica se debe tener las siguientes consideraciones generales, para no afectar al paciente y obtener los resultados deseados:

- Bases fisicoquímicas del tejido excitable
- Definir el tipo de electrodo a utilizar
- Forma de onda a aplicar durante la estimulación
- Seguridad eléctrica, tanto por las corrientes a utilizar en el dispositivo afectado al tratamiento así como en los equipos de evaluación del mismo

2. Electrodo y formas de onda

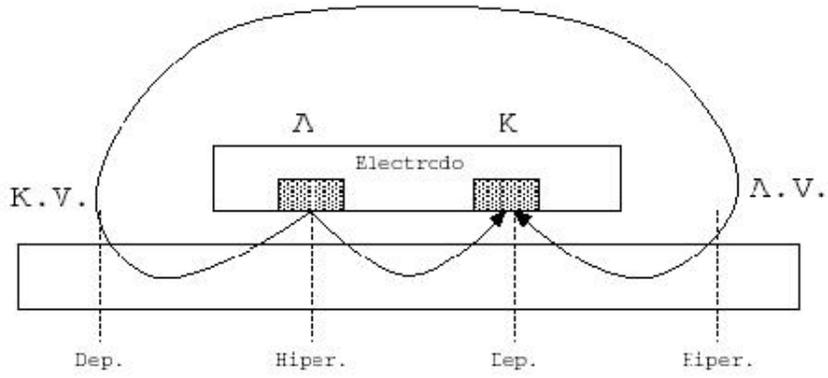
Si lo que se quiere es lograr estimulación externa, los electrodos superficiales se colocan sobre la superficie del músculo. Se caracterizan por ser de fácil fabricación, bajo costo y se pueden utilizar de manera sencilla ya que no requieren de una intervención quirúrgica. Dependiendo del electrodo utilizado se pueden distinguir diferentes tipos de estimulación [3] [4] :

- Monopolar catódica: En ésta, el único electrodo físico es el cátodo mientras que el ánodo es virtual, está en el exterior y es la referencia que dispone el estimulador
- Monopolar anódica: De igual manera que la anterior, se puede obtener una estimulación por ánodo y se tendrá el cátodo virtual
- Tripolar: Con ésta configuración, la corriente se localiza en el interior del electrodo y por tanto carece de electrodos virtuales con lo que disminuye el efecto de estimulaciones no deseadas como son las debidas a los nodos de ánodo y cátodo virtuales o estimulaciones en nervios próximos

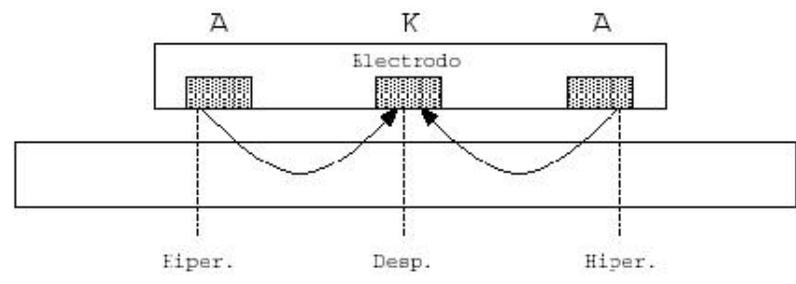


(a) Monopolar catódica

(b) Monopolar anódica



(c) Diferencial



(d) Tripolar

Figura 1: Disposiciones de los electrodos [3] [4]

Hay diferentes opciones en cuanto a la forma en que se pueden tener estímulos para mantener una contracción en el músculo sin dañar los tejidos. Para lograr esto hay que disponer de un tren de señales eléctricas. Cada pulso (Figura 2.) inyecta determinada carga al sistema que es necesario recuperar para no

dañar los tejidos. La recuperación de carga se realiza mediante la colocación de condensadores para almacenar la carga que luego se eliminará vía un interruptor o resistencia de salida del circuito de estimulación.

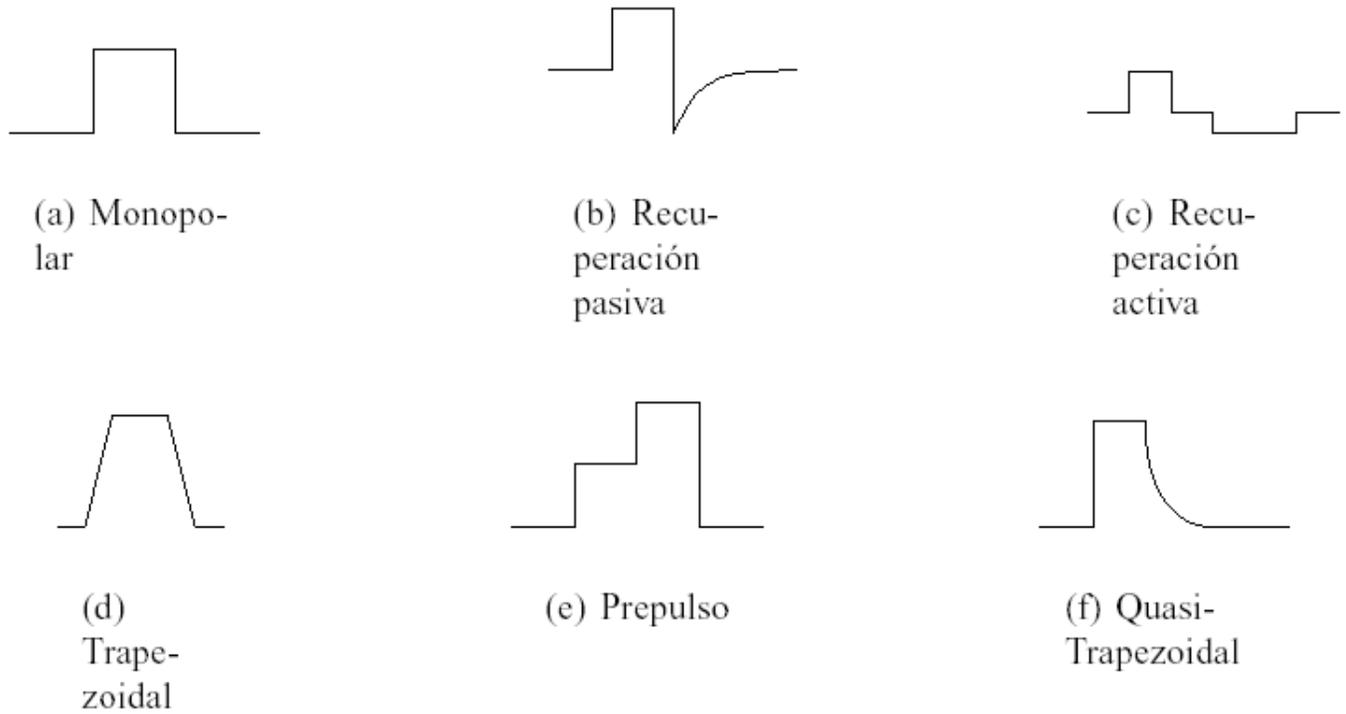


Figura 2: *Diferentes formas de onda utilizadas [3] [4]*

3. Seguridad eléctrica

3.1. Análisis Del Riesgo Eléctrico

Nuestro cuerpo no es un aislante, ni es un buen conductor, sino que se comporta como un circuito complejo, cuyas características conductoras varían de un individuo a otro y de unas condiciones a otras [7] [8]. Los factores determinantes de la gravedad del paso de la corriente eléctrica por el organismo son (*):

- Intensidad de la corriente eléctrica
- Tiempo de contacto a la corriente eléctrica
- Trayectoria de la corriente eléctrica por el cuerpo humano

- Frecuencia de la corriente eléctrica
- Resistencia eléctrica del cuerpo humano
- Tensión aplicada
- Condiciones fisiológicas del accidentado

Se pueden advertir los distintos tipos de lesiones:

Tetanización muscular: movimiento incontrolado de los músculos como consecuencia del paso de la energía eléctrica. Dependiendo del recorrido de la corriente se pierde el control de las manos, brazos, músculos pectorales. Se manifiesta como un bloqueo muscular, que impide la separación del punto de contacto.

Asfixia: se produce cuando la corriente atraviesa el tórax, impidiendo la contracción de los músculos de los pulmones y, por lo tanto, la respiración.

Paro respiratorio: se produce cuando la corriente atraviesa el centro nervioso respiratorio.

Fibrilación ventricular: el corazón no sigue su ritmo normal de funcionamiento, el cual, deja de enviar sangre a los distintos órganos aunque esté en movimiento. Dependiendo de la gravedad de esas alteraciones se puede producir incluso la muerte.

Quemaduras: producidas por la energía liberada al paso de la corriente (intensidad) debido al efecto Joule. Las quemaduras se clasifican en función de su gravedad en primer, segundo y tercer grado, siendo estas últimas las de mayor importancia.

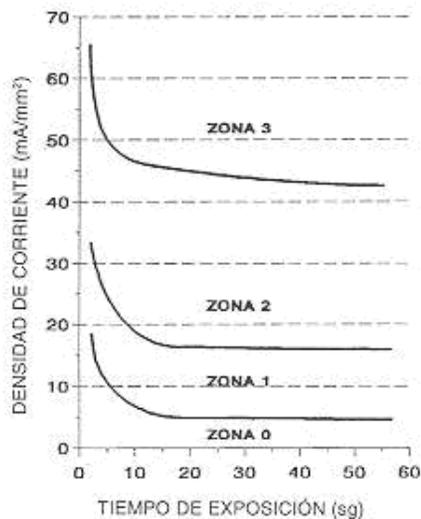


Figura 3: *Efecto sobre la piel [7]*

Para las quemaduras se han establecido unas curvas (figura 3) que indican las alteraciones de la piel humana en función de la densidad de corriente que circula por un área determinada (mA/mm²) y el tiempo de exposición a esa corriente. Se distinguen las siguientes zonas:

- Zona 0: habitualmente no hay alteración de la piel, salvo que el tiempo de exposición sea de varios segundos, en cuyo caso, la piel en contacto con el electrodo puede tomar un color grisáceo con superficie rugosa.
- Zona 1: se produce un enrojecimiento de la piel con una hinchazón en los bordes donde estaba situado el electrodo.
- Zona 2: se provoca una coloración parda de la piel que estaba situada bajo el electrodo. Si la duración es de varias decenas de segundos se produce una clara hinchazón alrededor del electrodo
- Zona 3: se puede provocar una carbonización de la piel.

Con una intensidad elevada y cuando las superficies de contacto son importantes se puede llegar a la fibrilación ventricular sin ninguna alteración de la piel.

En relación con la intensidad de corriente, son relevantes los conceptos que se indican continuación. *Umbral de percepción*: es el valor mínimo de la corriente que provoca una sensación en una persona, a través de la que pasa esta corriente. En corriente alterna esta sensación de paso de la corriente se percibe durante todo el tiempo de paso de la misma; sin embargo, con corriente continua solo se percibe cuando varía la intensidad. Generalizando, la Norma CEI 479-11994 considera un valor de 0,5 mA en corriente alterna y 2 mA en corriente continua, cualquiera que sea el tiempo de exposición. *Umbral de reacción*: es el valor mínimo de la corriente que provoca una contracción muscular. *Umbral de no soltar*: cuando una persona tiene sujetos unos electrodos, es el valor máximo de la corriente que permite a esa persona soltarlos. En corriente alterna se considera un valor máximo de 10 mA, cualquiera que sea el tiempo de exposición. *Umbral de fibrilación ventricular*: es el valor mínimo de la corriente que puede provocar la fibrilación ventricular. En corriente alterna, el umbral de fibrilación ventricular decrece considerablemente si la duración del paso de la corriente se prolonga más allá de un ciclo cardíaco. Por ejemplo, en corriente alterna y con intensidades inferiores a 100 mA, la fibrilación puede producirse si el tiempo de exposición es superior a 500 ms.

En la figura 4 se indican los efectos que produce una corriente alterna de frecuencia comprendida entre 15 y 100 Hz con un recorrido mano izquierda -los dos pies. Se distinguen las siguientes zonas:

- Zona 1: habitualmente ninguna reacción.
- Zona 2: habitualmente ningún efecto fisiológico peligroso.
- Zona 3: habitualmente ningún daño orgánico. Con duración superior a 2 segundos se pueden producir contracciones musculares dificultando la respiración, paradas temporales del corazón sin llegar a la fibrilación ventricular.
- Zona 4: riesgo de parada cardiaca por: fibrilación ventricular, parada respiratoria, quemaduras graves.

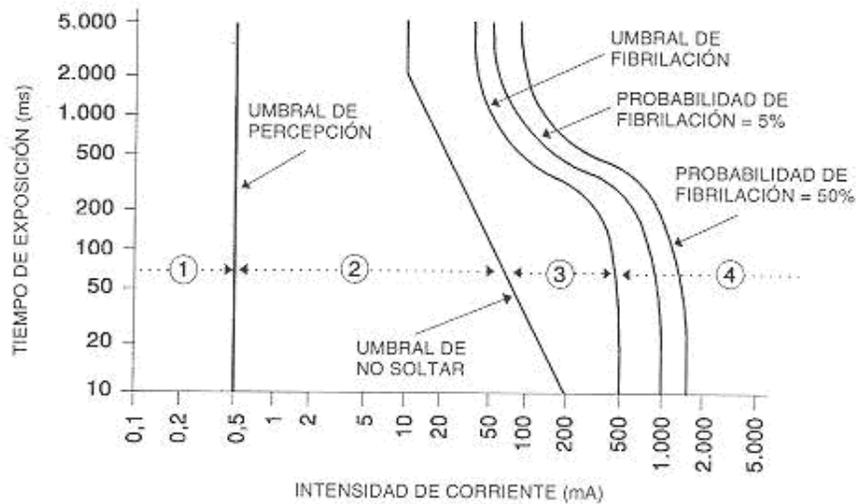


Figura 4: *Curvas Corriente/Tiempo* [7] [8]

La tensión aplicada, en sí misma no es peligrosa pero, si la resistencia es baja, ocasiona el paso una intensidad elevada y, por tanto, muy peligrosa. El valor límite de la tensión de seguridad debe ser tal que aplicada al cuerpo humano, proporcione un valor de intensidad que no suponga riesgos para el individuo. Las tensiones de seguridad aceptadas son 24 V para emplazamientos húmedos y 50 V para emplazamientos secos, siendo aplicables tanto para corriente continua como para corriente alterna de 50 Hz.

Como consecuencia, a la hora de diseñar un sistema de estimulación muscular, se deben tener en cuenta los ítems descritos en (*), sus efectos, y los umbrales de seguridad eléctrica para no provocar lesiones al individuo.

3.2. Conexión de equipos a la red eléctrica.

Cuando se realizan mediciones para evaluar el resultado de una terapia con electroestimulación, es necesario considerar la seguridad eléctrica en la instalación. Una manera de prevenir accidentes debido a fugas de corriente es utilizar transformador de aislación para conectar el equipo a la red [5] [10]. El mismo será de razón 1:1, con secundario aislado a tierra. Se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Su construcción será del tipo de doble aislamiento.
- El circuito secundario no tendrá ningún punto común con el primario ni con ningún otro circuito distinto.
- No se emplearan conductores ni contactos a tierra de protección en los circuitos conectados al secundario.
- Será vigilado por un monitor de aislamiento que indicará cuando ocurra una sobrecarga y una sobre temperatura.

4. Estimulación eléctrica para el control de la espasticidad.

Los accidentes vasculares cerebrales, las lesiones medulares y las enfermedades neurológicas tienen entre sus complicaciones una espasticidad en la musculatura. La espasticidad es un desorden del control motor común en las personas que sufren lesiones en el sistema nervioso central.

Se han obtenido buenos resultados, temporalmente, disminuyendo la intensidad de la espasticidad, pero no hay evidencia de una mejora permanente cuando acaba el tratamiento.

4.1. Equipo para evaluar la espasticidad.

Dada la necesidad de contar con un equipo que realice el seguimiento del tratamiento con estimulación eléctrica en pacientes espásticos, en [9] se describe un desarrollo del mismo. A continuación se describen los requerimientos de diseño:

- Que permita la evaluación cuantitativa del estado de espasticidad de los músculos extensores de la rodilla, a partir de la realización del Test del Péndulo.
- Que no requiera movilizar al paciente a un laboratorio específico para realizar los distintos registros.
- Que incluya un software capaz de:
 - Graficar y almacenar el goniograma de la articulación de la rodilla, obtenido durante la realización del Test del Péndulo.
 - Calcular el IRN (índice de relajación normalizada evaluado a partir del balanceo de una extremidad).
 - Almacenar y visualizar los datos del paciente.
- Que permita registrar el seguimiento de los niveles de espasticidad de un paciente antes y después de utilizar la estimulación eléctrica.

4.2. Diagrama de bloques

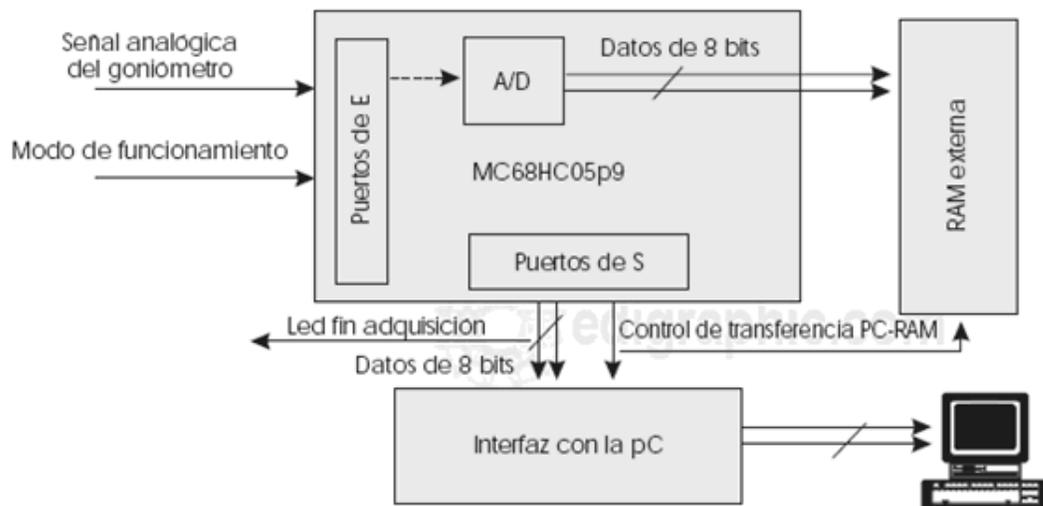


Figura 5: *Diagrama de Bloques [9]*

El subsistema de registro y transferencia de datos a la PC, cuyo diagrama en bloques puede observarse en la figura, tiene dos modos de funcionamiento: lectura o escritura. En modo escritura la señal analógica proveniente del goniómetro es digitalizada por el conversor analógico digital del microcontrolador. Los datos digitales de 8 bits se envían a una memoria RAM externa de 2Kb. Esta memoria es configurada por el microcontrolador para que almacene los datos digitales. Un contador de 12 bits externo al P9 genera las posiciones de memoria donde se almacenan los distintos datos. La frecuencia de muestreo de la señal analógica es de 100 Hz, por lo que es posible almacenar un estudio de 20 segundos en la memoria RAM. Este tiempo asegura, con un amplio margen, el registro de todas las variaciones angulares producidas durante la ejecución del Test del Péndulo. Cuando se llega a la última posición de memoria RAM disponible, el microcontrolador detiene el proceso de conversión y activa una señal visual indicando que la adquisición ha finalizado. En modo lectura, el P9 configura la RAM para acceder a su contenido, que es diseccionado por el contador externo. Los datos adquiridos en el modo escritura se transfieren desde un puerto de salida del P9 al puerto paralelo de la computadora. La transferencia de un byte está comandada por el software que se ejecuta en la PC .

Los IRN fueron calculados, en todos los casos, con una sensibilidad de 0.01. La interacción del usuario con el software en la creación y el uso de las fichas pacientes resultaron amigables. El sistema desarrollado resultó de fácil manejo y alta robustez al momento de su empleo rutinario en las instituciones de salud.

Conclusiones

La estimulación eléctrica a nivel muscular es una herramienta muy útil para ser utilizada a nivel fisioterapéutico con pacientes que necesitan recuperar el nivel de actividad muscular, ya sea de carácter individual, o en un grupo de músculos afectados. Cabe destacar que aún no se ha estandarizado su uso, debido a que se encuentra en una etapa experimental de desarrollo, no se encuentra disponible en todos los centros de salud ni existen instrumentos comercialmente aptos que se adapten a todos los requerimientos de los pacientes afectados. También es necesario contar con instrumentos que permitan evaluar los efectos del tratamiento aplicado en el paciente, que ofrezcan una solución confiable, robusta y de fácil manejo tanto para técnicos como para el paciente afectado al tratamiento.

Agradecimientos

Tecn. Oscar Zuluaga .Mayte SRL .
Lic. Carlos Planel .Licenciado en Fisioterapia.

Referencias

1. REHABIQBA. <http://www.rehabiqba.com.mx/estimulacione electrica.html>
2. Diccionario de medicina. <http://es.mimi.hu/medicina>
3. Desarrollo de un Estimulador Eléctrico Implantable .Universidad Autónoma de Barcelona.
<http://www.tesisnarxa.net/TDX-1211101-100107/indexan.html>
4. Sistema Implantable para la Estimulación y Registro del Nervio Periférico. Universidad Autónoma de Barcelona.
<http://www.tesisred.net/TDX-1203107-170819/indexcs.html>

5. Sistemas Eléctricos en Pabellones Quirúrgicos. Clínica Alemana Stgo.
<http://www.enfermeraspabellonyesterilizacion.cl/eventos/presentaciones/ElectricidadenPabellones.pdf>
6. S. K. Moore, *Psychiatry's Shocking New Tools*, IEEE Spectrum, Marzo 2006.
7. Riesgos Eléctricos. <http://www.monografias.com/trabajos10/riel/riel.shtml>
8. Consideración de los Riesgos Eléctricos.
<http://www.voltimum.es/files/es/others/O/200603039411169030-35.pdf>
9. Sistema para evaluación de la espasticidad muscular .Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica. Volumen 23, numero 2, septiembre 2002.
<http://www.medigraphic.com/espanol/e-htms/e-inge/e-ib2002/e-ib02-2/em-ib022i.htm>
10. Wiley- Design and development of medical electronic instrumentation (2005)