

SIMULADOR DE ELECTROCARDIOGRAMA (ECG)

Clave del registro del proyecto: CIN2012A50051

Colegio Indoamericano S.C. (6779)

Autores:

Anaya Pérez Saul Alberto

Hernández Diego Sandra Lizeth

Asesores:

M. en C. Carla Kerlegand Bañales

Biól. Ana Lilia Moreno Trejo

Áreas de Convergencia

Disciplina: Física y Biología

Tipo de Investigación: Desarrollo Tecnológico

Tlalnepantla de Baz, Estado de México, México

12 de febrero de 2013



RESUMEN

En esta investigación, se desarrolló un simulador de electrocardiograma, el cual ayuda a los ingenieros biomédicos a probar y calibrar equipos de monitoreo de signos vitales y equipos de electrocardiografía sin necesidad de conectarlo a un ser humano, todo esto con el objetivo de construirlo a un menor costo. Se realizó utilizando resistencias, un PIC 17C56-XT/P, capacitores, un oscilador, push button, diodos LED, potenciómetro 50K, pila 9 volts, interruptor eléctrico 2 polos, tableta fenólica, papel couche, ácido fórmico así como entradas banana-hembra. Al término del ensamblaje de todas las piezas antes mencionadas de acuerdo a un diagrama preestablecido, fue posible construir el simulador de ECG, el cual produce las señales correctas para las distintas derivaciones. El simulador de ECG funciona correctamente y permite calibrar y probar un electrocardiógrafo. Haciendo algunas modificaciones es posible representar una arritmia cardíaca o taquicardia, y añadirle otras funciones útiles en la calibración de instrumentos, todo esto a un menor costo, respecto al de los modelos existentes en el mercado.

ABSTRACT

In this research, an electrocardiogram simulator was developed. This simulator helps biomedical engineers to test and calibrate both vital signs monitoring equipment and electrocardiographs, without connecting them to an actual human being. This simulator was created by using resistors, a PIC 17C56-XT/P, capacitors, an oscillator, push button, LEDs, potentiometer 50K, 9 volt battery, 2-pole electrical switch, phenolic tablet, coated paper, formic acid, and banana-female entries. At the end of the assembly according to a previously established diagram, it was possible to build the ECG simulator which produces correct signals for the different derivatives. The ECG works correctly and allows calibrating and testing an electrocardiograph. Making some modification, it is possible to simulate a cardiac arrhythmia or tachycardia and add other useful functions in the instrument calibrations at a low cost in relation to the existent models in the market.



INTRODUCCIÓN

El corazón está dotado de un sistema especial para generar rítmicamente impulsos que produzcan la contracción periódica del músculo cardíaco, el latido cardíaco se origina en un sistema de conducción cardíaco especializado. Las estructuras que conforman el sistema de conducción son: el nodo sino-auricular (nodo S-A), las vías auriculares internodales, el nodo AV, el haz de His y sus ramas y el sistema de Purkinje, el estímulo eléctrico se propaga mediante procesos de despolarización y repolarización que modifican temporalmente el potencial en reposo (Ganong, W. 2002).

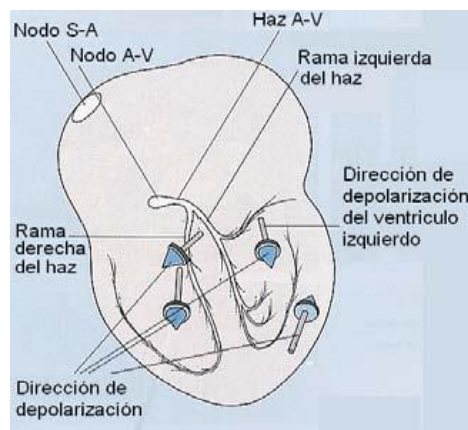


Figura1. Sistema de estímulo eléctrico del corazón

En el nodo S-A (sinusal o sino-auricular) se genera el impulso rítmico normal auto-excitatorio, en el nodo A-V (aurioventricular), el impulso procedente de la aurícula se retrasa antes de pasar al ventrículo, el haz A-V conduce el impulso desde las aurículas a los ventrículos, sus ramas derecha e izquierda (fibras de Purkinje) conducen el impulso cardíaco a todas partes de los ventrículos. A causa de que los líquidos corporales son buenos conductores, las fluctuaciones en el potencial, que representan la suma algebraica de los potenciales de acción de las fibras del miocardio, pueden ser registradas extracelularmente. El registro de estas fluctuaciones de los potenciales durante el ciclo cardíaco es el electrocardiograma (ECG) (Levay, D. 2004).

Los electrocardiogramas se usan muy a menudo para los exámenes médicos, investigación y desarrollo de equipo biomédico. Por consiguiente un simulador de ECG tiene una gran variedad



de aplicaciones. En un registro de ECG de un paciente sano se identifican claramente tres formas de onda: onda P, complejo QRS y onda T, cada una correlacionada con la despolarización que reciben las distintas zonas del miocardio.

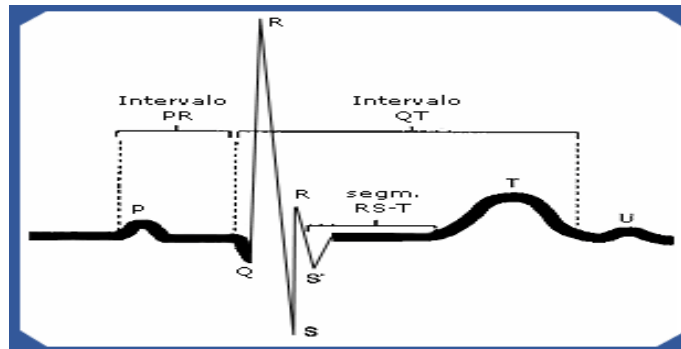


Figura 2. Complejo PQRSTU

La onda P se produce por la despolarización de las aurículas y es la primera deflexión electrocardiográfica de cada ciclo cardíaco, durante el intervalo PR que sigue a la despolarización auricular, el impulso se propaga al nodo AV, al haz de His y a ambas ramas; en el electrocardiograma clínico sólo es posible ver una línea plana. La despolarización de ambos ventrículos y la repolarización de las aurículas se reflejan en el complejo QRS, donde la onda R es la primera deflexión positiva, la deflexión negativa anterior a R es la onda Q, y la deflexión negativa posterior a R es la onda S. El segmento ST se extiende desde el final del complejo QRS al comienzo de la onda T y representa la fase de repolarización inicial en ambos ventrículos. El punto en el que el segmento ST se une al complejo QRS se denomina punto J (del inglés *joint*, unión). La fase tardía de la repolarización de ambos ventrículos corresponde a la onda T. El segmento ST y la onda T son indicadores del estado del miocardio ventricular. La onda U no es un hallazgo constante y se piensa que es debida a la despolarización lenta de los músculos papilares (Allan, R. 2002).

La disposición de las conexiones de cada par de electrodos recibe el nombre de *derivación*. En el registro del electrocardiograma se utilizan habitualmente doce derivaciones: las derivaciones de extremidades, las derivaciones de extremidades aumentadas y las derivaciones precordiales. Las *derivaciones de las extremidades* son bipolares, porque detectan las variaciones eléctricas en dos



puntos y ponen de manifiesto la diferencia. DI es una conexión entre electrodos situados en el brazo izquierdo y en el brazo derecho. Cuando el brazo izquierdo está en un campo de fuerzas positivo respecto al brazo derecho, en DI se inscribe una deflexión hacia arriba (positiva). DII es la conexión entre los electrodos situados en la pierna izquierda y el brazo derecho, DIII es una conexión entre la pierna izquierda y el brazo izquierdo. Las *derivaciones de extremidades aumentadas* son unipolares, registran las variaciones eléctricas de potencial en un punto (brazo derecho, brazo izquierdo o pierna izquierda) respecto a otro punto en que la actividad eléctrica durante la contracción cardíaca no varía significativamente. La derivación está aumentada en virtud del tipo de conexión eléctrica, que da como resultado un trazo de amplitud aumentada. Estas derivaciones son aVR, aVL y aVF. Las *derivaciones precordiales* son unipolares y se registran en el tórax. Los electrodos móviles registran el potencial eléctrico que hay bajo ellos mismos respecto a la conexión terminal central, que se hace conectando los cables del brazo derecho, el brazo izquierdo, y la pierna izquierda. Estas derivaciones son V1, V2, V3, V4, V5 y V6.

Las diferencias temporales y morfológicas en las ondas y segmentos del registro electrocardiográfico con respecto a un paciente normal podrían ser indicativas de padecimientos cardíacos, siempre y cuando se haya descartado la posibilidad de interferencias de cualquier índole (como interferencia de la línea eléctrica, interferencia magnética, interferencia por transientes, etc.). Esto representa el análisis de la señal eléctrica cardíaca en el dominio del tiempo. El latido o ritmo cardíaco puede ser anormal debido a una perturbación del sistema eléctrico que controla la contracción del músculo cardíaco. Una arritmia es un ritmo de latido demasiado lento o rápido o bien errático. El latido normal es iniciado por células especializadas del marcapasos natural el nodo sinoauricular (SA) de la parte alta de la aurícula derecha. Dichas células envían señales eléctricas similares a impulsos nerviosos al tejido muscular auricular para que se contraiga. Las señales se transmiten por el nodo auriculoventricular (AV) a lo largo de fibras, como las nerviosas a través del septo (tabique divisorio central) hasta el tejido ventricular (Parker S. 2007).



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El equipo mediante el cual se realiza el ECG o electrocardiógrafo debe estar correctamente calibrado para que dicha representación corresponda de manera exacta a la actividad eléctrica del corazón en estudio. Algunos electrocardiógrafos poseen esta función, pero los que no la tienen deben calibrarse aplicándoles un pulso externo proveniente de un paciente sano y en reposo o de un simulador de paciente. Estos últimos, como el METRON PS- 440, el CEA7C, el BIOSIM12 ECG SIMULATOR o el TechPatient CARDIO, por mencionar algunos, son muy costosos, por lo que se pretende desarrollar un simulador que reduzca este costo significativamente.

HIPÓTESIS

Es posible diseñar y construir un simulador de paciente o simulador de ECG que produzca de manera eficiente la señal de electrocardiograma, con fines de verificación y calibración de aparatos de ECG, a un bajo costo.

OBJETIVOS

Objetivo general: Desarrollar un simulador de ECG el cual ayude a ingenieros biomédicos a probar y calibrar equipos de monitoreo de signos vitales y equipos de electrocardiografía sin necesidad de conectarlo a un ser humano, a un bajo costo.

Objetivos específicos: Desarrollar un dispositivo electrónico capaz de producir señales idénticas a las de un ser humano sano y en reposo para cada una de las derivaciones del electrocardiograma.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El diseño de un simulador de ECG está basado mediante un microcontrolador PIC, un oscilador, divisor de frecuencias, componentes pasivos, circuitos integrados, amplificador y señal de ECG.

El PIC es programado para que nos de la simulación de ECG es la interfaz de los componentes analógicos a digital.



Para el divisor de frecuencias se utiliza un circuito integrado (4521): este divisor de frecuencias es alimentado por el oscilador. Se obtiene a la salida de este circuito integrado cinco señales de onda cuadrada a diferentes frecuencias, de las cuales cuatro de estas señales nos servirán para la obtención a diferentes frecuencias de la señal de ECG.

La etapa de los amplificadores está construida con la finalidad de obtener cada una de las derivaciones. Se utilizaron varios amplificadores operacionales para poder obtener una amplitud (ganancia) que esté de acuerdo con cada una de las diferentes derivaciones electrocardiográficas que se deseen obtener.

Resistencias: La resistencia de un circuito eléctrico determina, según la llamada ley de Ohm, cuánta corriente fluye en el circuito cuando se le aplica un voltaje determinado. La unidad de resistencia es el ohmio, que es la resistencia de un conductor si es recorrido por una corriente de un amperio cuando se le aplica una tensión de 1 voltio. La abreviatura habitual para la resistencia eléctrica es R, y el símbolo del ohmio es la letra griega omega, Ω . En algunos cálculos eléctricos se emplea el inverso de la resistencia, $1/R$, que se denomina conductancia y se representa por G. La unidad de conductancia es siemens, cuyo símbolo es S. Aún puede encontrarse en ciertas obras la denominación antigua de esta unidad, ohm (Allan R. 2002).



Resistencia



Resistencia

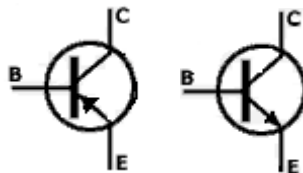
Condensador: El condensador es uno de los componentes más utilizados en los circuitos eléctricos. Un condensador es un componente pasivo que presenta la cualidad de almacenar energía eléctrica. Está formado por dos láminas de material conductor (metal) que se encuentran separados por un material dieléctrico (material aislante). En un condensador simple, cualquiera sea su aspecto exterior, dispondrá de dos terminales, los cuales a su vez están conectados a las dos láminas conductoras (Allan R. 2002).





Condensador no polarizado Condensador variable

Transistor: Los transistores se componen de semiconductores. Se trata de materiales, como el silicio o el germanio, dopados (es decir, se les han incrustado pequeñas cantidades de materias extrañas), de manera que se produce un exceso o una carencia de electrones libres. En el primer caso, se dice que el semiconductor es del tipo n, y en el segundo, que es del tipo p. Combinando materiales del tipo n y del tipo p se puede producir un diodo. Cuando éste se conecta a una batería de manera tal que el material tipo p es positivo y el material tipo n es negativo, los electrones son repelidos desde el terminal negativo de la batería y pasan, sin ningún obstáculo, a la región p, que carece de electrones. Con la batería invertida, los electrones que llegan al material p pueden pasar sólo con muchas dificultades hacia el material n, que ya está lleno de electrones libres, en cuyo caso la corriente es prácticamente cero (Allan R. 2002).



Transistor NPN Transistor PNP

Pila: Dispositivo que convierte la energía química en eléctrica. Todas las pilas consisten en un electrolito (que puede ser líquido, sólido o en pasta), un electrodo positivo y un electrodo negativo. El electrolito es un conductor iónico; uno de los electrodos produce electrones y el otro electrodo los recibe. Al conectar los electrodos al circuito que hay que alimentar, se produce una corriente eléctrica.



Las pilas en las que el producto químico no puede volver a su forma original una vez que la energía química se ha transformado en energía eléctrica (es decir, cuando las pilas se han descargado), se llaman pilas primarias o voltaicas. Las pilas secundarias o acumuladores son aquellas pilas reversibles en las que el producto químico que al reaccionar en los electrodos produce energía eléctrica, puede ser reconstituido pasando una corriente eléctrica a través de él en sentido opuesto a la operación normal de la pila (Allan R. 2002).



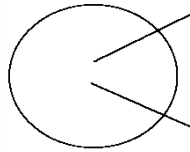
PILA-ACUMULADOR-BATERÍA

Diodo Led: Es un tipo especial de diodo, que trabaja como un diodo común, pero que al ser atravesado por la corriente eléctrica, emite luz. Existen diodos LED de varios colores que dependen del material con el cual fueron contruidos. Hay de color rojo, verde, amarillo, ámbar, infrarrojo, entre otros. Eléctricamente el diodo LED se comporta igual que un diodo de silicio o germanio. Si se pasa una corriente a través del diodo semiconductor, se inyectan electrones y huecos en las regiones P y N, respectivamente (Allan R. 2002).



Oscilador: El cristal de cuarzo es utilizado como componente de control de la frecuencia de circuitos osciladores convirtiendo las vibraciones mecánicas en voltajes eléctricos a una frecuencia específica. Esto ocurre debido al efecto "piezoeléctrico". La piezoelectricidad, es electricidad creada por una presión mecánica. En un material piezoeléctrico, al aplicar una presión mecánica sobre un eje, dará como consecuencia la creación de una carga eléctrica a lo largo de un eje ubicado en un ángulo recto respecto al de la aplicación de la presión mecánica (Allan R. 2002).





Oscilador o Cristal

Interruptor Eléctrico: Es en su acepción más básica un dispositivo que permite desviar o interrumpir el curso de una corriente eléctrica (Allan R. 2002).

METODOLOGÍA

MATERIALES

- Resistencias :
 1. 3.3 K Ω -1
 2. 4.7 K Ω - 1
 3. 1 K Ω -3
 4. 47 K Ω -2
 5. 39 K Ω -2
 6. 470 Ω - 5
 7. 33 K Ω -1
 8. 27 K Ω -1
 9. 2.7 K Ω -1
 10. 330 K Ω -3
 11. 82 K Ω -4
- PIC: PIC 17C56-XT/P
- Capacitores:
 - 0.001 Mf
 - 0.01 Mf
- Oscilador 475 Khtz
- 4 Push button



- 2 Diodos LED
- 1 Potenciómetro 50K
- Pila 9 volts
- Interruptor eléctrico 2 polos
- Tableta fenólico
- Papel couche
- Ácido fórmico
- 10 entradas banana-hembra

MÉTODO

1. Se desarrolló el diagrama electrónico del simulador de ECG, en *Live Wire*.
2. Las resistencias se insertaron en base al diagrama electrónico que se realizó al inicio, ya que sus valores son distintos, de acuerdo a los cálculos realizados, de la misma manera sucede con cada uno de los valores de los capacitores utilizados.
3. En el PIC se encuentra la programación para que se genere la señal del electrocardiograma de acuerdo a las derivaciones correspondientes que tiene el corazón, con el cual se utiliza un cristal u oscilador para determinar la frecuencia de la señal del electrocardiograma. El PIC también fue fijado a la tableta.
4. Se instaló un diodo LED en la salida de la señal que nos genera el PIC, esto con el fin de ver que está funcionando correctamente.
5. Los conectores banana-hembra, se colocaron en el probador del simulador para poder visualizar el ECG en cualquier monitor, las cuales van conectadas a las salidas del PIC que corresponden a las derivaciones del corazón.
6. Para cambiar la frecuencia de la señal, se insertaron push-button, estos funcionan como simulador de la frecuencia del corazón (podemos tener 60 HZ 90HZ o 120 HZ).
7. Por medio de la pila de 9 volts se obtiene la energía, de esta manera el simulador no necesita conectarse a la electricidad y puede ser transportado a cualquier lugar donde se necesite utilizar.



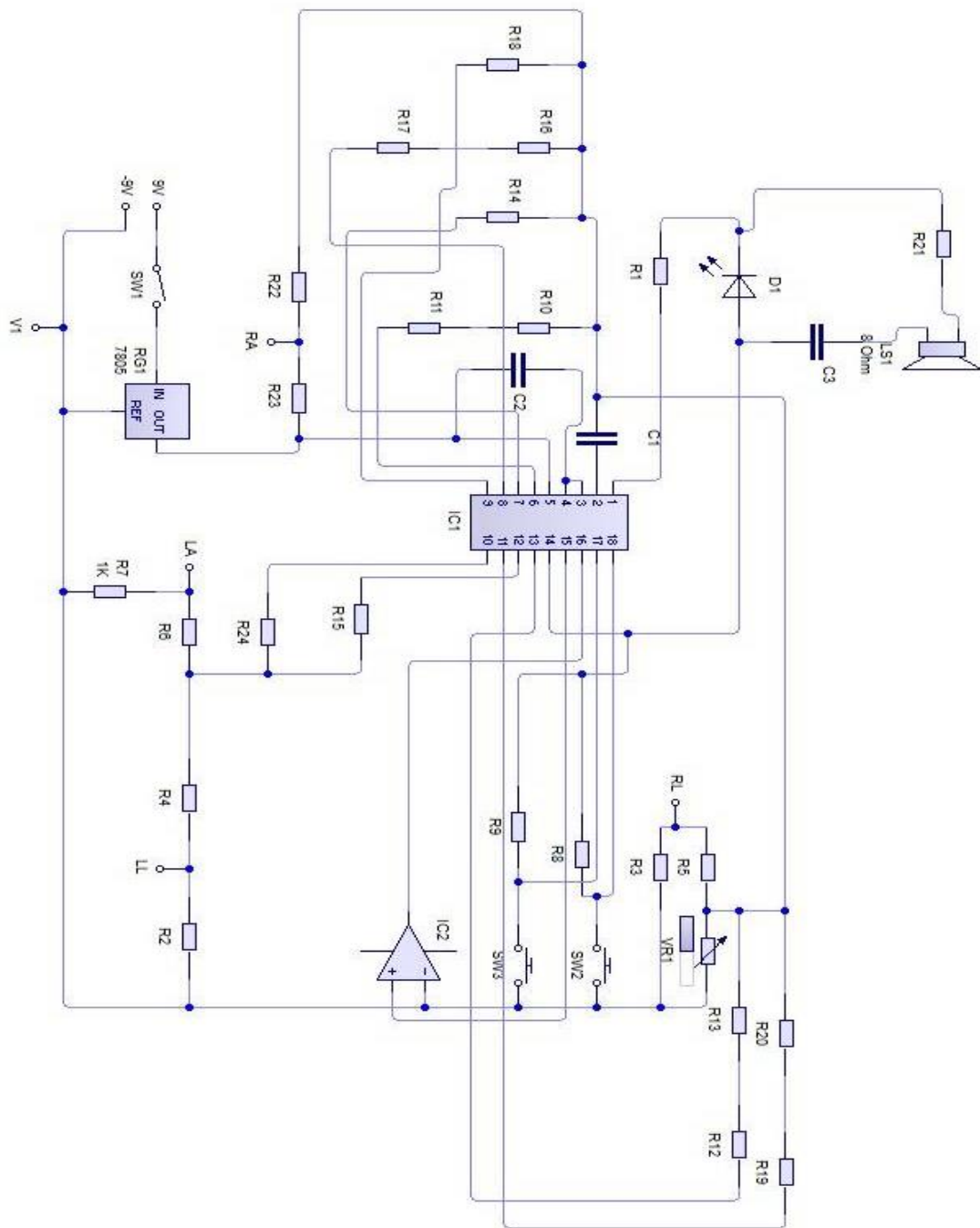


Figura 3. Diagrama electrónico



RESULTADOS OBTENIDOS

Fue posible construir el Simulador de ECG, el cual produce las señales correctas para las distintas derivaciones.

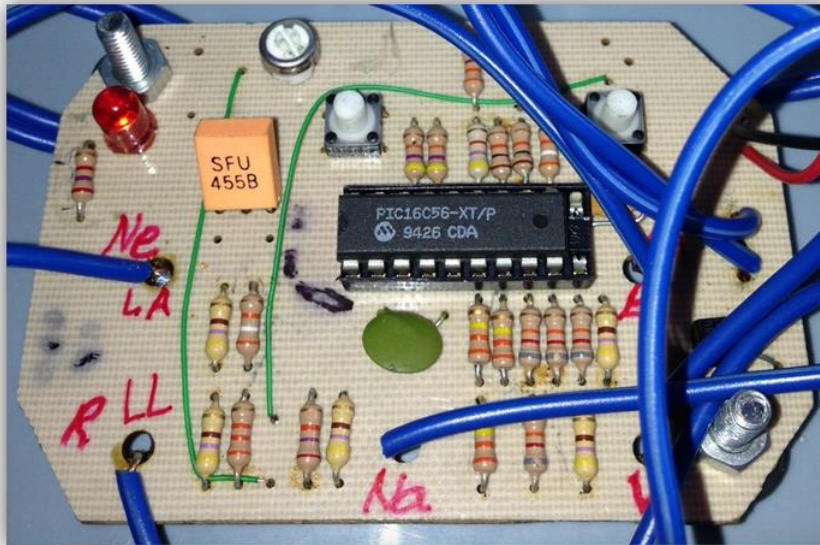


Figura 4.
terminado

Prototipo
I



Figura 5. Prototipo Terminado II





Figura 6. Prototipo terminado III

CONCLUSIONES

El simulador de ECG funciona correctamente y permitió calibrar y probar un electrocardiógrafo. Haciendo algunas modificaciones es posible representar una arritmia cardíaca o taquicardia, y añadirle otras funciones útiles en la calibración de instrumentos.

FUENTES BÁSICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Levay, David. *Anatomía y Fisiología Humana*. Editorial Paidotribo, 2004, Barcelona España. págs. 261-269.
- Lepori L. *Atlas Sistema Cardiovascular*. Editorial Astra Zeneca, 2006, Mexico D.F. págs. 12-17.
- Parker S. *Cuerpo Humano*. Editorial Dorling Kindersley, 2007, Gran Bretaña, págs. 118-127.
- Allan R. *Electrónica*. Editorial Prentice Hall, 2002, España. Págs. 555-562, 777-779.
- Pleite J. *Electrónica Analógica para ingenieros*. Editorial Mc Graw Hill. 2009, Mexico. Págs. 225-240.
- Ganong, W. *Fisiología Médica*. Editorial Manual Moderno, 2002, México D.F. Págs. 587-602.



REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- <http://www.emagister.com/curso-electrocardiograma/ondas-electrocardiograma>
- <http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/webestudiantes/2005ii/software/ecg.html>
- <http://www.electrocardiografia.es/derivaciones.html>

