



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

DISEÑO DE UN EKG (ELECTROCARDIÓGRAFO) CON VISUALIZACIÓN EN TIEMPO REAL DE LA SEÑAL CARDÍACA EN UNA TABLET O DISPOSITIVO ANDROID

Alberto Calle Carrión ⁽¹⁾, Bladimir Señalín Arcayes ⁽²⁾, M.Sc. Miguel Yapur ⁽³⁾

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral

Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador

adcalle@espol.edu.ec ⁽¹⁾, bsenalin@espol.edu.ec ⁽²⁾, myapur@espol.edu.ec ⁽³⁾

Resumen

La Electrónica y las Telecomunicaciones como ingeniería, han facilitado el avance tecnológico del hombre, tanto en el ámbito de las comunicaciones, la industria, el hogar y sobre todo en la salud; el presente proyecto corresponde al diseño de un electrocardiógrafo con transmisión vía Bluetooth de la señal cardíaca del corazón hacia una Tablet, cuyo sistema operativo es Android, para el control y diagnóstico de cardiopatías de los pacientes, de forma más práctica para el médico tratante. La señal cardíaca obtenida por electrocardiógrafo se digitaliza y se transmite por vía Bluetooth hacia una Tablet, haciendo posible que posteriormente el resultado sea capturado por la pantalla, sea compartida vía internet hacia instituciones especialistas o hacia cualquier destino del mundo, siguiendo así, las pautas de la Telemedicina. Este proyecto hace mención a la relación que existe entre la Medicina y la Electrónica; ya que con el grupo de componentes electrónicos usados y el diseño realizado, se demuestra cómo se debe preparar y amplificar una señal cardíaca para el posterior análisis que realiza el médico cardiólogo tratante; y así, poner en evidencia cuán importante es la Electrónica en la vida diaria del ser humano, especialmente en el campo de la Medicina. Para las mediciones de la señal, se utiliza un equipo compuesto por: electrodos (No-invasivos), el Electrocardiógrafo, el módulo Micro-controlador y la Tablet.

Abstract

Electronics and Telecommunications as Engineering, have eased the human technological advances, so much as in the field of communications, industry, household and specially health; the present project correspond to an Electronic Design of a electrocardiograph with a Bluetooth transmission into cardiac signal to a smartphone or Tablet, whose operating system is Android, for a Cardiologist easy and practical heart diseases diagnostic and control in patients. The Cardiac Signal obtained by the electrocardiograph is digitalized and transmitted via Bluetooth towards a Tablet device, making it possible afterwards the result, being captured, and being shared by internet to Cardiologic Institutions or any destination in the world, thus, following the Telemedicine patterns. This project makes mention about the existent relation between Electronics and Medicine; it will be shown, how to prepare and amplify cardiac signals for the following Medic analysis; demonstrating in this way, how important Electronic on daily life is, especially in the field of Medicine. For the signal measuring, it is used a device made up of: electrodes (non-invasive), an electrocardiograph, the Microcontroller module and the Tablet device.

1. INTRODUCCIÓN

El EKG es un equipo electrónico diseñado para procesar y tratar señales cardíacas del cuerpo humano, para ser posteriormente visualizadas bajo parámetros médicos por un especialista; mediante el uso del EKG, es posible diagnosticar enfermedades cardíacas preexistentes y presentes en un paciente; la señal es digitalizada mediante el uso de un PIC 16F886, luego es enviada hacia

un módulo Bluetooth HC-06, para finalmente transmitirla hacia una Tablet para poder ser visualizada mediante una aplicación desarrollada en Android. Se propone así, diseñar un equipo portable, capaz de realizar las 3 derivaciones bipolares de las extremidades. Se expondrán conceptos básicos sobre el corazón, el ciclo cardíaco y las corrientes eléctricas que se involucran, y cómo medirlas mediante el EKG; además, se describe la transmisión inalámbrica, la plataforma en base a micro-controladores

y finalmente la visualización de la señal cardíaca en una Tablet, mediante el diseño de una aplicación en plataforma Java con sistema operativo Android.

2. Principios Básicos

2.1 El Corazón

El corazón es un órgano del cuerpo humano que forma parte del sistema circulatorio, está formado por bombas mecánicas que distribuyen sangre por todo el cuerpo, cuenta con 3 tipos de músculos cardíacos: el músculo auricular, el músculo ventricular y por fibras de conducción que presentan descargas eléctricas rítmicas.

2.2 Potenciales de Acción

Los potenciales de acción son ondas eléctricas que inducen la despolarización de la membrana del corazón, se originan en el nodo Sinusal y son los responsables del estímulo que hará que el corazón funcione como una bomba mecánica con automatismo; este estímulo puede ser visto en la onda cardíaca apreciada en un Electrocardiograma como onda T. Se forman tomando en cuenta que el cuerpo está formado 70% por agua y sales, y ésta contiene tres iones principales: Cloro $[Cl^-]$, Sodio $[Na^+]$ y Potasio $[K^+]$, la membrana tiende a ser negativa a unos -90 mV en su superficie a diferencia del exterior de la membrana que es positiva.

2.3 Ciclo Cardíaco

El ciclo cardíaco empieza con el ingreso de la sangre llena de CO_2 proveniente del cerebro y cuerpo en general, esta sangre usada por el cuerpo ingresa por la venas Cavas del corazón, van a pasar por la válvula Tricúspide hacia el ventrículo derecho que se va a llenar hasta expulsarla por diferencia de presión hacia la válvula pulmonar, a su vez hacia la arteria pulmonar, para que sea enviada a los pulmones; una vez que la sangre entra a los pulmones, se oxigena mediante el intercambio gaseoso e ingresa nuevamente por medio de las venas pulmonares, el ventrículo izquierdo se llena hasta que por diferencia de presión entre las válvulas la sangre rica en oxígeno sea expulsada mediante la arteria aorta hacia todo el cuerpo a un voltaje de 1.2 mV mediante un proceso de contracción llamado Sístole.

2.4 Tipos de Ondas Cardíacas

Todo el proceso cardíaco va a verse reflejado en las ondas cardíacas y visualizadas en el EKG; para esto es requerido saber entender que significa cada una de las señales y segmentos estudiados en la señal resultante:

Onda P: Será la primera señal a apreciarse; se presenta debido a la despolarización auricular, es la señal del estímulo eléctrico inicial a unos 0.2 mV.

Segmento Q R S: Es la señal de la contracción del ventrículo izquierdo, se presenta debido al incremento de presión de la arteria Aorta a unos 1.2 mV.

Onda T: Es la onda de relajación ventricular y empieza justo cuando terminan de expulsarse la sangre por la arteria Aorta a unos 0.3 mV.

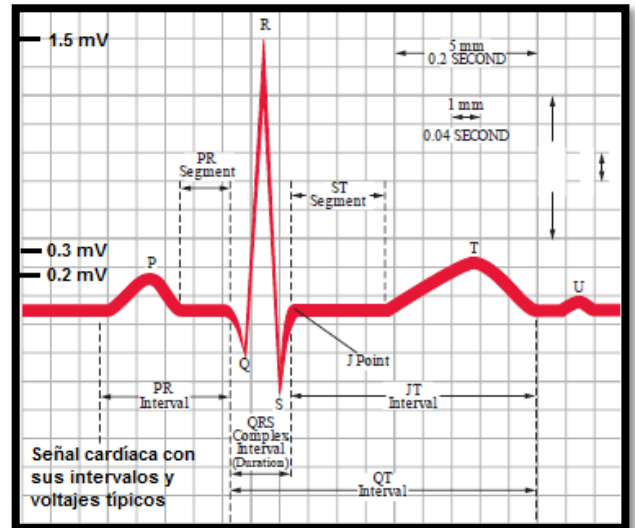


Figura 1. Onda Cardíaca (Obtenido del texto "Podrid's Real World EKG vol1")

2.5 Ruidos en una Medición Cardíaca

Durante el proceso de implementación y diseño del equipo es común enfrentarse a problemas de interferencia y ruidos; a continuación, se muestran los ruidos que afectaron el diseño del EKG.

Ruido Flicker: Se produce por el contacto involuntario de 2 materiales conductores, ocasionando que el flujo de corriente sea irregular, se lo evidencia en bajas frecuencias y se lo evita con buen aislamiento.

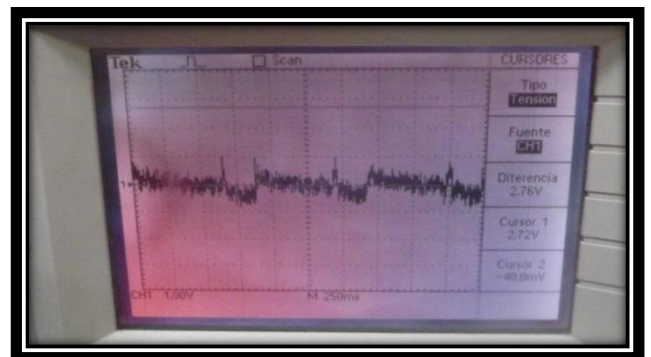


Figura 2. Ruido de Flicker

Ruido Artificial: Se produce por captaciones electromagnéticas de señales externas, radiación de fuentes externas, se lo puede reducir usando blindajes o circuitos electrónicos como filtros.

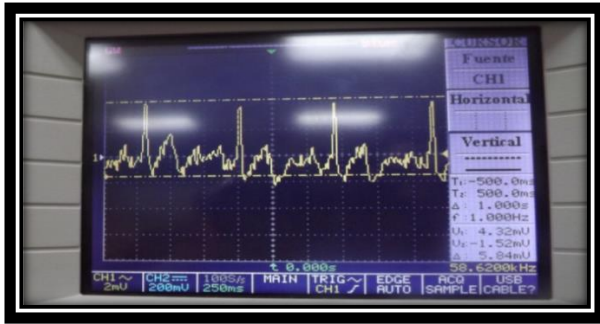


Figura 3. Ruido Artificial

Ruido Térmico: Es el ruido referente a las altas temperaturas de los elementos o del ambiente de trabajo, producirán diferencias de tensión a lo largo de conductores y se los reduce con correcta disipación y acondicionamiento del lugar de trabajo.

2.6 Electrodo

Para el presente trabajo se usarán electrodos no invasivos descartables producidos en base a un metal noble o Plata (Ag+), los cuales producen en su interior un proceso químico de óxido-reducción, donde el cloro (Cl⁻) presente en el cuerpo forma el cloruro de plata (AgCl) para poder transferir electrones.

La función principal de los electrodos es crear una interfaz conductora entre el paciente y el EKG, para que conduzcan las corrientes iónicas hacia el circuito electrónico donde posteriormente serán consideradas como señales eléctricas.

2.7 Diagrama de Bloques

El diagrama se forma mediante el proceso general de mediciones médicas:

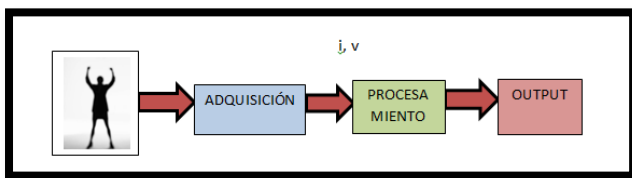


Figura 4. Diagrama de Bloques

3. Diseño del EKG

El equipo está formado por los siguientes bloques:

- Protección Eléctrica
- Amplificador de Instrumentación
- Filtro Activo Pasa-Bajos
- Filtro Activo Pasa-Altos
- Filtro Notch
- Amplificador de Señal
- Acondicionamiento de Señal
- Digitalización de Señal
- Visualización

3.1 Protección Eléctrica

El circuito de protección o aislamiento comprende un circuito RC para evitar interferencias exteriores, una protección contra descargas eléctricas compuesto por un par de diodos y un seguidor de voltaje que acoplará las corrientes iónicas a corrientes eléctricas

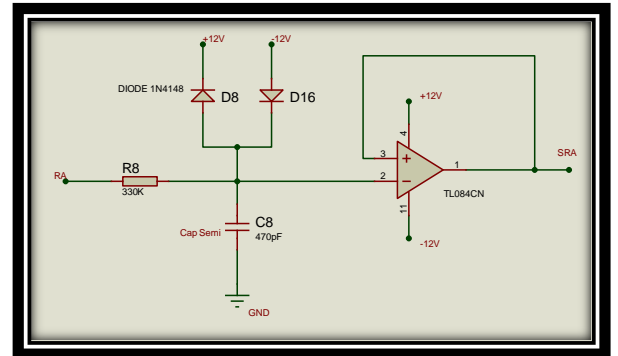


Figura 5. Circuito de Protección Eléctrica

3.2 Amplificador de Instrumentación

Se utiliza el circuito integrado AD620AN, cuya función principal es anular el componente de modo común (ruido) y amplificar la diferencia de señal; sin embargo, en la práctica, este componente no es eliminado completamente ya que queda un remanente.

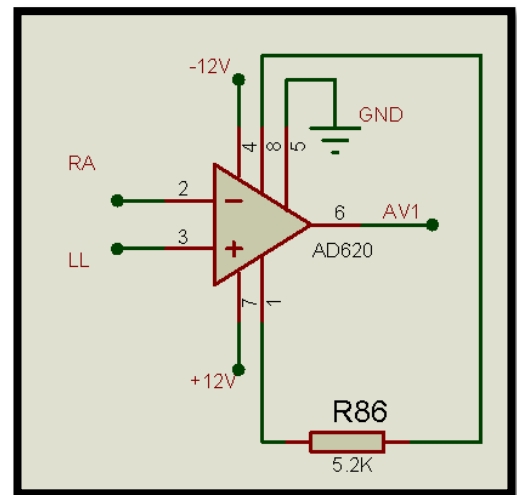


Figura 6. Circuito Integrado AD620

3.3 Filtro Activo Pasa-Bajos

Es un filtro de segundo orden que permitirá limitar el ancho de banda a utilizar en la parte superior del espectro, atenúa las señales que si deja pasar y descarta frecuencias que no forman parte de la señal, se define las frecuencias de corte a utilizar; se quiere limitar el ancho de banda desde 5Hz hasta 40 Hz a raíz de esto se determina los elementos adecuados,

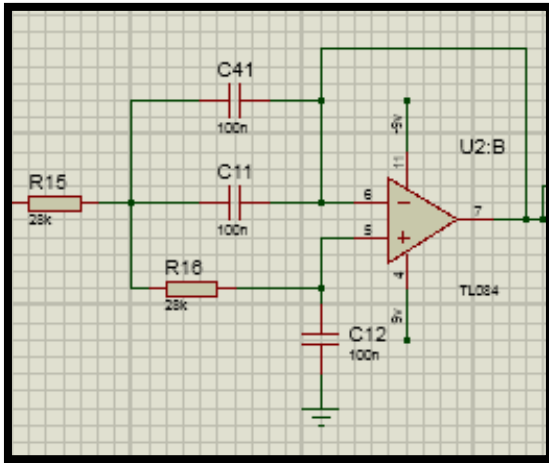


Figura 7. Filtro Activo Pasa-Bajos

Para poder calcular la frecuencia superior de corte:

$$f_c = \frac{1}{2\pi R\sqrt{C_1 C_2}} \quad (\text{Ec.1})$$

Donde C1= 200 nF, C2= 100nF y R= 28KΩ como resultado: $f_c = 40.2 \text{ Hz}$

3.4 Filtro Activo Pasa-Altos

Es un filtro de segundo orden que permitirá limitar el ancho de banda a utilizar en la parte inferior del espectro y darle ganancia a las señales que pasan, descarta frecuencias que no forman parte de la señal cardíaca

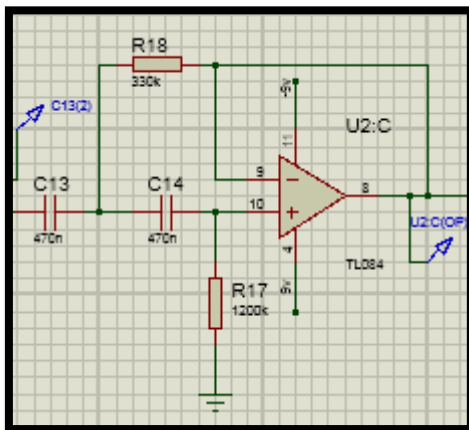


Figura 8. Filtro Activo Pasa-Altos

Para Para poder calcular la frecuencia superior de cortenos remitimos a la ecuación:

$$Q = 0.5\sqrt{\frac{R_1}{R_2}} \quad (\text{Ec.2})$$

$$Q = 0.7$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi C\sqrt{R_1 R_2}} \quad (\text{Ec.3})$$

Donde C=470nF, R1= 1200kΩ y R2= 3.3KΩ

$$f_c = 5.3 \text{ Hz}$$

3.5 Filtro Notch

Consiste en un filtro pasa-banda con una configuración sumadora inversora de Opamps, su ganancia está definida por la ganancia del pasa-banda y su función principal es eliminar las frecuencias inducidas por la red eléctrica o frecuencias de 60 Hz que generarán interferencia electromagnética o ruido artificial.

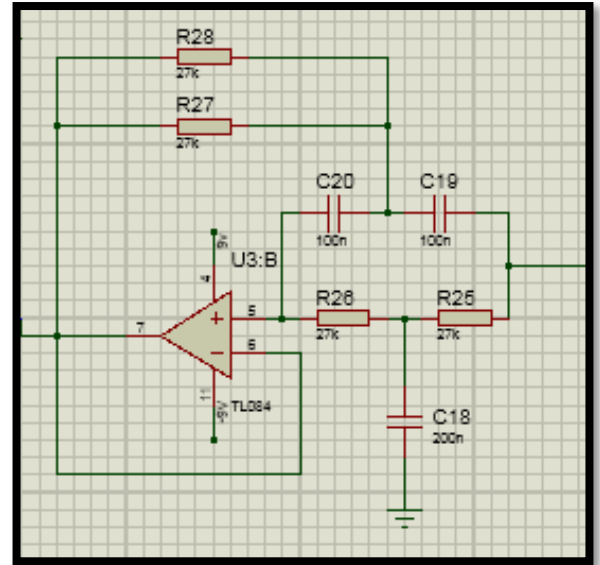


Figura 9. Filtro Notch

3.6 Amplificación y Acondicionamiento

La etapa de amplificación empieza desde la salida del filtro pasa altos, con una configuración sumadora inversora que permite multiplicar la ganancia que logra pasar por los filtros con la ganancia de la configuración sumadora inversora., Adicional, se diseñó un circuito de OFFSET a la salida para poderle dar un nivel DC a la señal y así prepararla para la siguiente etapa en la tarjeta del PIC

$$A = 1 + \frac{R_f}{R_i} \quad (\text{Ec.4})$$

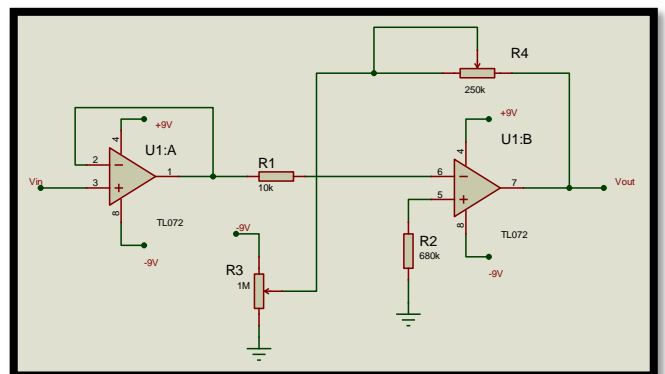


Figura 10. Acondicionamiento y Amplificación

Donde $R_f = 330k\Omega$ y $R_l = 5.6k\Omega$ con una ganancia de 60.

3.7 Digitalización

El procedimiento de digitalización se lo ejecuta en un PIC 16F886A entrada analógico, definido como el puerto RA1, y procesada mediante una rutina de programación que compara la señal y la convierte en una cadena de caracteres de 10 bits, para posteriormente ser enviada como salida por el puerto serial UART del PIC hacia el módulo Bluetooth HC-06, definido en el puerto RC6 o puerto de Rx. La señal digital; la señal proveniente del EKG ingresa por un pin de final, será guardada en una cadena de caracteres de 10 bits llamada FIN y tendrá un retardo de transmisión de 5ms.

La velocidad de baudios que soportará el módulo será idealmente de 9600; el módulo Bluetooth usado es el HC-06, el cual va a permitir establecer comunicaciones inalámbricas hacia computadoras o hacia smartphones; cuenta con transferencia de datos moderada de hasta 112.5 Kbps y un indicador led de transferencia. Los pines se distribuyen desde Vcc, Rx, Tx y Gnd y tendrán que estar conectados con la tarjea del PIC.



Figura 11. Visualización final en Osciloscopio

4. Aplicación en Android

4.1 Especificación y Desarrollo

Android es una plataforma de programación para dispositivos móviles como Tablets y smartphones, La plataforma de Android tiene su propio lenguaje de programación basado en Java; la aplicación ha sido desarrollada en Eclipse, que es un IDE que permite facilitarle al desarrollador una programación práctica y sencilla. La codificación en Android está estructurada en 2 capas; la primera, respecto a las visualizaciones de la pantalla o entorno gráfico y la segunda respecto a las funcionalidades o acciones que realiza la aplicación; se definen 3 clases principales para el desarrollo de la aplicación: EntradaMac, GráficaEKG y Principal. Cada una de estas clases tiene una función sobre la aplicación y

se relacionan con objetos de la misma programación así como métodos que cada una de las clases llaman según sea la función a cumplir, con el objetivo que es graficar la señal. Para definir el entorno gráfico, el módulo CANVAS permite que la aplicación dibuje la señal que proviene desde el módulo Bluetooth.

4.2 Visualización final

La aplicación EKG programada, escucha al módulo Bluetooth y la clase "Principal" de la aplicación, contiene a su vez una subclase de la librería de Amarino, que se encarga de recibir los datos del módulo Bluetooth y establecer la conexión, que finalmente presenta en la pantalla.



Figura 12. Visualización final en Tablet

5. Pruebas y Análisis de Resultados

5.1 Pruebas

Durante todo el proceso de diseño se presentaron algunos dilemas de ejecución, el reemplazo de componentes equivalentes, la fijación del ancho de banda efectivo así como el uso de los filtros; todos ellos fueron los factores más importantes en el proceso de pruebas.

5.2 Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos muestran que existen ondas cardíacas que no fueron posibles identificar, tales como la onda U, que suele ser una onda difícil de captar debido al

tiempo de muestreo que se está usando, que resulta ser más rápido, y a los errores de bits perdidos al momento de la digitalización.

Adicionalmente, se evidencia en el segmento ST, una depresión de señal, la resolución de bits de cada equipo de visualización puede conducir a una pérdida de amplitud de la señal, con el cual se requiere calibrar el tiempo de muestreo para lograr captar las ondas de manera puntual; algunos inconvenientes fueron:

- Interferencia de Contacto: Se requiere uso de diodos y valores de resistencia en la entrada menores
- Filtro Notch: Se requiere el uso de 2 configuraciones de Filtros Notch en cascada.
- Problemas de Capacitancia: La selección incorrecta de frecuencias de corte así como las valencias exactas de los integrados y componentes a utilizar.

6. Conclusiones

La sincronización se realizó sin problemas en cuanto se logró acoplar los tiempos de retardo de manera precisa (5 ms) y 9600 baudios.

La señal obtenida en el osciloscopio muestra más detalles en la señal, en comparación a la Tablet, lo cual se debe a las pérdidas en la transmisión inalámbrica, así como la sincronización de tiempo y frecuencia que se establece en la plataforma Amarino y la comunicación serial del PIC.

La librería libre de Arduino llamada Amarino y que forma parte de la aplicación Android, es la que permite construir las propias interfaces de la Tablet, sin necesidad de programación de líneas y permite establecer la transmisión vía Bluetooth.

La plataforma electrónica funcionó sin problemas; la plataforma Android comprueba mediante pruebas que la transmisión que se realiza por medio de la digitalización no tiene inconvenientes como cortes o ruido.

La visualización en la Tablet muestra gráficamente la señal cardíaca de manera continua y real; adicionalmente, es posible hacerle captura de pantalla para poder ser enviada hacia cualquier destino vía internet y para análisis de médicos especialistas en todo el mundo.

7. Recomendaciones

El uso efectivo del filtrado electrónico se realiza tomando en consideración la frecuencia cardíaca común con la que se va a trabajar en las mediciones, las frecuencias de corte establecidas para una buena medición deben ser de al menos 5Hz en adelante.

La configuración de los baudios con la cual se hará la comunicación UART hacia el módulo Bluetooth y, del módulo Bluetooth a la Tablet, debe ser de al menos 9600 baudios, así se logrará hacer una sincronización continua y se podrá tener una mejor resolución de la señal.

La subclase CANVAS de JAVA genera en su método un valor de espacio que la librería AMARINO la suma al valor digital, en el proceso de digitalización se debe ejecutar una acción de restricción de 2 dígitos para evitar que la aplicación grafique ruido.

El desarrollo del proyecto debe ejecutarse en etapas de acuerdo al diagrama de bloques propuesto, esto permitirá que el diseño sea metódico, evitando confusiones en la programación así como improvisaciones en el desarrollo que pudieran conllevar a un mal diseño.

Se debe procurar soldar la placa PCB del EKG de forma aislada; es decir, mediante el uso de espaldines, sockets o jumpers, que brindarán la facilidad de conectar y desconectar los periféricos cada vez que se use el equipo.

El teléfono o Tablet a usar debe usar preferentemente el sistema operativo Android 2.x, los equipos con Android 1.6 funcionan; sin embargo, no en todos los modelos, los equipos HTC Hero y Samsung Behold no son compatibles.

8. Referencias

- [1] Philip Podrid- Rahev Malhotra, Podrid's Real-World EKGs Vol1, 2007
- [2] Dale Dubin, Electrocardiografía práctica, Lesión, Trazado e Interpretación Tercera edición, 2004
- [3] Malcom S Thaler, M.D, The only EKG Book You'll Ever Need 8th, 2015
- [4] L. Britt Wilson, Ph.D USMLE STEP 1, Physiology, 2013
- [5] Msc Miguel Yapur, Apuntes de Electrónica Médica, 2do término, 2013
- [6] Bases de la Electro-medicina, Impedancia de los Electroodos, origen y captación, <http://slideplayer.es/slide/2261867/>, fecha de consulta febrero 2015
- [7] Anatomía y funcionamiento del aparato circulatorio del cuerpo humano, <http://www.huescaenbtt.es/corazon.htm>, fecha de consulta febrero 2015
- [8] Microelectrónica, Development tools, Compilers and Books, chapter 3 PIC16F887, <http://www.mikroe.com/chapters/view/81/capitulo-3-microcontrolador-pic16f887/#c3v1>, fecha de consulta febrero 2015