

Electrocardiógrafo Inalámbrico Implementando Módulos de Transmisión ZigBee y Paneles Solares

Sergio Andrés Sánchez Sanjuán

Universidad Sergio Arboleda, Bogotá, Cundinamarca, Colombia, sergioa.sanchez@correo.usa.edu.co

Sergio Andrés Pineda Rodríguez

Universidad Sergio Arboleda, Bogotá, Cundinamarca, Colombia, sergio.pineda@correo.usa.edu.co

Consejero de Facultad:

M.Sc. Jesús David González-Llorente;

Universidad Sergio Arboleda, Bogotá, Cundinamarca, Colombia, jesusd.gonzalez@correo.usa.edu.co

ABSTRACT

The work is for the design and implementation of an electrocardiograph that deliver cardiac signals wirelessly transmitted using ZigBee technology powered by solar panels using the Labview control software. The importance of this project is to shorten the patient's diagnosis by the doctor during his way to the hospital through the transmission of the cardiac signal wirelessly to be displayed in real time. This will give the doctor more time to analyze the patient before arrival at hospital. Likewise, the solar panel feeding allows the use of irradiation from the sun, to turn the use of an optimum voltage source for powering the circuit and making it more portable electrocardiograph through a feeding system composed of DC / DC converters which adjust the input potential to optimum potential of each subsystem, which in our case requires +/- 5V bias for the acquisition system of the cardiac signal and 3.3V for the wireless transmission stage. Between the results achieved is the design of the power supply together with the cardiac signal obtained analogously pure by LabView Software and wireless transmission by XBee modules.

Keywords: Electrocardiograph, Solar Panel, Wireless Transmission, Analog Digital Conversion.

RESUMEN

El trabajo realizado corresponde al diseño e implementación de un electrocardiógrafo que transmite las señales cardiacas de manera inalámbrica utilizando la tecnología de transmisión ZigBee con alimentación por medio de paneles solares utilizando el software de control Labview. La importancia de este proyecto es la de acortar el tiempo de diagnóstico del paciente por parte del médico durante su rumbo al hospital a través de la transmisión de la señal cardiaca vía inalámbrica para ser visualizada en tiempo real. Esto permitirá dar más tiempo al doctor en analizar el estado del paciente antes de su arribo al centro asistencial. De igual forma, la alimentación por panel solar permite el aprovechamiento de la irradiación del sol, a su vez del uso de una óptima fuente de voltaje para alimentar el circuito del electrocardiógrafo y hacerlo más portátil mediante un sistema de alimentación compuesto por convertidores DC/DC que ajustan el potencial de entrada a un potencial óptimo de cada subsistema, que para nuestro caso se requiere de +/- 5V de polarización para el sistema de adquisición de la señal cardiaca y 3.3V para la etapa de transmisión inalámbrica. Entre los resultados alcanzados se encuentra el diseño de la fuente de alimentación junto con la obtención de la señal cardiaca pura de manera análoga mediante el Software LabView y la transmisión inalámbrica por parte de los módulos de XBee.

Palabras Claves: Electrocardiógrafo, Panel Solar, Transmisión Inalámbrica, Conversión Análoga – Digital.

2.1 CONOCIMIENTO DE LOS SUBSISTEMAS:

2.1.1. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN:

El sistema de alimentación se encuentra conformado por un panel solar convencional de 7V a 400mAh el cual va interconectado a una batería recargable de 6V quien a su vez mediante el uso de convertidores DC/DC MC34063 en configuraciones “Step-Down” e “Inverting” (Mohan N, 2009), el voltaje será reducido a los potenciales necesarios para la activación de los demás módulos incorporados como lo son el sistema análogo, la conversión Análoga-Digital (Microcontrolador) y el sistema de transmisión de datos. Estos voltajes corresponden a +5V y -5V para el circuito del electrocardiógrafo y +3.3V para los módulos de transmisión. Finalmente, la salida de cada convertidor se conecta a los subsistemas correspondientes para ser alimentados. El diagrama generalizado de este sistema se muestra a continuación (Figura 2):



Fig. 2 Diagrama de Bloques que componen el sistema de alimentación

2.1.2. SUBSISTEMA DE ADQUISICIÓN Y FILTRADO: CIRCUITO ELECTROCARDIOGRAFO.

El circuito electrocardiógrafo se encuentra constituido por una serie de amplificadores operacionales en funciones de filtros pasa-baja (Sedra A, 2004) de tal forma que al captar la señal del corazón (Quien generalmente presenta una frecuencia muy pequeña) no sea filtrada respecto a otras señales o impurezas externas como el ruido electromagnético y así pueda ser visualizada sin presentar alguna interferencia o superposición de ondas adicionales. En la Figura 3 se presenta el diagrama esquemático correspondiente al circuito electrocardiógrafo utilizando el software de simulación y diseño electrónico Altium Designer 10.

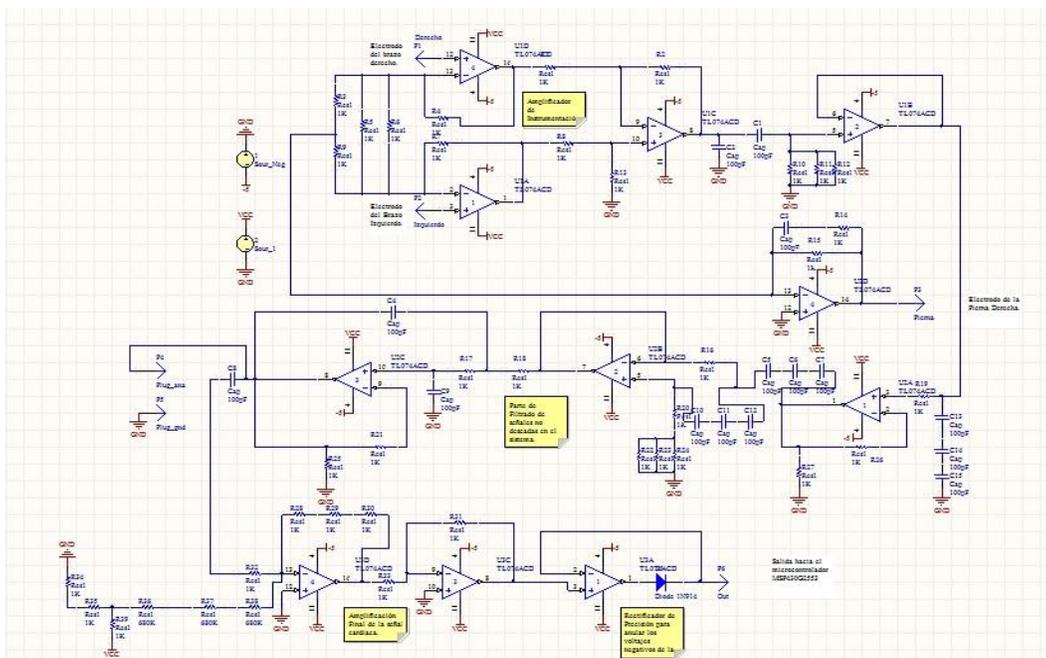


Fig.3 Circuito electrocardiógrafo correspondiente al subsistema de Adquisición y filtrado.

2.1.3. PRIMERA ETAPA DE VISUALIZACIÓN.

La visualización de las señales que nos proporciona el electrocardiógrafo pueden ser vista desde un elemento de medición como lo es el osciloscopio, sin embargo uno de los objetivos de este proyecto es lograr versatilidad para poder encontrarle aplicaciones prácticas, así que por medio del software de National Instruments de control gráfico conocido como Labview, se emplea una interfaz gráfica para poder hacer una visualización de las señales análogas en un computador convencional con entrada USB (Bus Serial Universal).

Cabe mencionar que para ello se utiliza una tarjeta de adquisición de datos compatible a este software llamada USB-6009. Mediante una respectiva configuración se aprovechará sus entradas diferenciales que son muy útiles en este proyecto ya que eliminan un gran porcentaje de ruido exterior pues en este caso las señales que se manejan son muy pequeñas así que cualquier índice de ruido puede distorsionar su correcto funcionamiento. Al final, se podrá visualizar la señal en la interfaz de Labview. La Figura 4 corresponde a los instrumentos virtuales implementados en el software que permitirán interconectar el sistema análogo con la tarjeta de adquisición de datos de National Instruments.

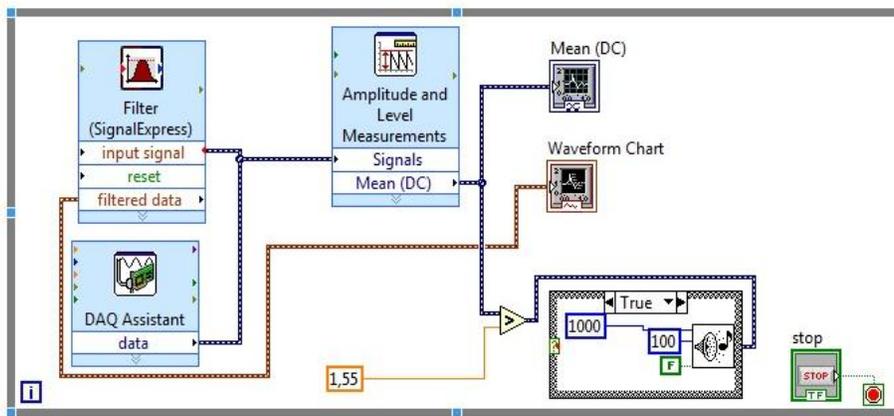


Fig. 4 Instrumentos Virtuales utilizados para la visualización mediante la tarjeta de adquisición de datos de National Instruments de LabView.

2.1.4. SUBSISTEMA DE CONVERSIÓN ANÁLOGA-DIGITAL.

Ya obtenida la señal en un computador, se procede a enviar las señales de forma inalámbrica para tener un mayor cubrimiento en cuanto a la aplicación de visualizarla en tiempo real, pero para ello la señal debe digitalizarse. La transmisión inicia con una conversión de la señal análoga captada por el circuito anterior mediante un Microcontrolador. La Figura 5 corresponde al Microcontrolador MSP430G2553 de Texas Instruments® utilizado para la configuración de este subsistema (MSP430G253, Texas Instruments)



Fig. 5 Microcontrolador MSP430G2553 y su configuración de pines.

El MSP430 es una plataforma de 16-bit de ultra-baja potencia quien ofrece la última solución para una amplia gama de bajo consumo y aplicaciones portátiles incluida junto con una tarjeta de programación llamada LaunchPad. Ésta es una herramienta de desarrollo fácil de usar, pensado para principiantes y expertos por igual para la creación de aplicaciones basados en Microcontroladores. El kit de Desarrollo LaunchPad (Figura 56) es útil para la serie MSP430 el cual contiene un socket DIP integrado que soporta hasta 20 pines, permitiendo que los dispositivos de la misma familia puedan incorporarse y programarse en la misma tarjeta. Además, una herramienta integrada de flash de emulación permite conexión directa a un PC para una fácil programación, depuración, y evaluación mediante programación en lenguaje C.

Por ello, para este proyecto se ha implementado un programa que permita la conversión Análogo-Digital de la señal cardiaca y a su vez, aprovechando las demás herramientas que nos proporciona la tarjeta, programar la comunicación serial dentro del mismo Microcontrolador.



Fig. 6 Tarjeta de Desarrollo y Programación LaunchPad de Texas Instruments.

La Figura 7 muestra un diagrama de bloques sencillo del código implementado para la programación del Microcontrolador MSP430 que permite la digitalización de la señal cardiaca.

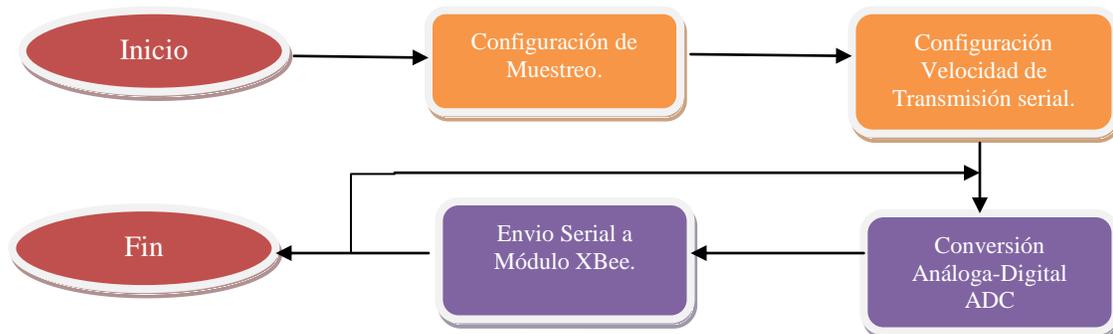


Fig. 7 Diagrama de Bloques del código implementado en el Microcontrolador.

2.1.5. SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN DE LA SEÑAL MEDIANTE LOS MÓDULOS ZIGBEE

Luego de la digitalización, las señales pasan a un primer módulo XBee® programado para enviar la señal vía inalámbrica a un segundo módulo quien al recibirla se encargará de pasarla al siguiente subsistema.

Actualmente existe un gran número de estándares inalámbricos como Bluetooth, WiFi, Wimax, entre otros. Todos estos orientados hacia aplicaciones con altos requerimientos de ancho de banda (redes domésticas, de oficina, y videoconferencias). El inconveniente con cualquiera de estos estándares inalámbricos radica en el gran consumo de energía y el ancho de banda que utilizan frente a la baja tasa de bits enviados por cualquier aplicación sensora

o de control y sus bajos requerimientos de energía. Para este proyecto en específico al relacionarlo directamente con el acto de sensar señales cardíacas y al tener que usar un bajo consumo de energía fue ideal usar módulos que se comunicaran por medio del estándar Zigbee (Zumbido de Abejas en Español) (XBee, Digi). Dicho estándar conocido bajo el modelo IEEE 802.15.4 es ideal pues ofrece autonomía, bajo consumo, envío de datos de baja capacidad y por supuesto un bajo costo.

Cabe aclarar que cuando la señal análoga es visualizada en un computador por medio de la interfaz de Labview es totalmente independiente de la siguiente etapa que es la de procesamiento y envío por medio de los módulos. Cada uno funciona independientemente, lo que quiere decir que así no se tenga una etapa de digitalización y de envío de la señal, la primera etapa de visualización funcionada óptimamente.

La Figura 8 muestra el módulo utilizado para este subsistema de emisión y recepción de la señal cardíaca proveniente del conversor Análogo – Digital. (Deben utilizarse dos de ellos).



Fuente: <http://www.xbee.cl/caracteristicas.html>

Fig. 8 Módulo para la transmisión de datos XBee®

2.1.6. SEGUNDA ETAPA DE VISUALIZACIÓN.

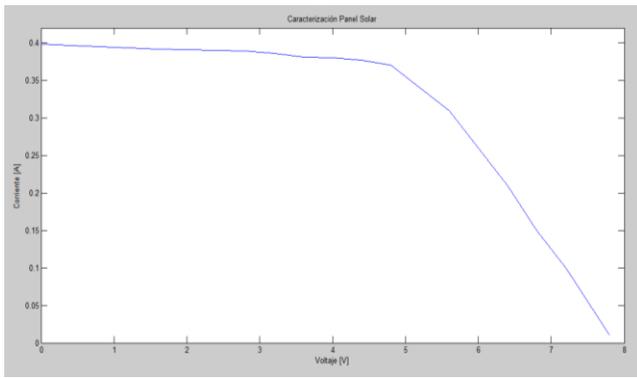
La segunda etapa de visualización tendrá como objetivo cubrir un mayor espacio en cuanto a la utilidad del proyecto, para ello, es de vital importancia tener en cuenta las dos etapas anteriores de digitalización y transmisión – recepción para poder diseñar el sistema que permita la visualización inalámbrica en tiempo real.

A partir de la señal proveniente del módulo XBee® configurado como receptor se integra un subsistema final que permitirá lograr la visualización en cualquier PC, sin embargo como ya se mencionó, la idea es ampliar el campo de acción del proyecto y además usar distintas tecnologías y ambientes de desarrollo. El objetivo es que por medio del software de desarrollo Altium Designer® y su plataforma NanoBoard 3000, implementar un modo de visualización directamente en un monitor habilitando el puerto VGA que ésta ofrece, todo esto por medio del lenguaje de descripción de hardware VHDL.

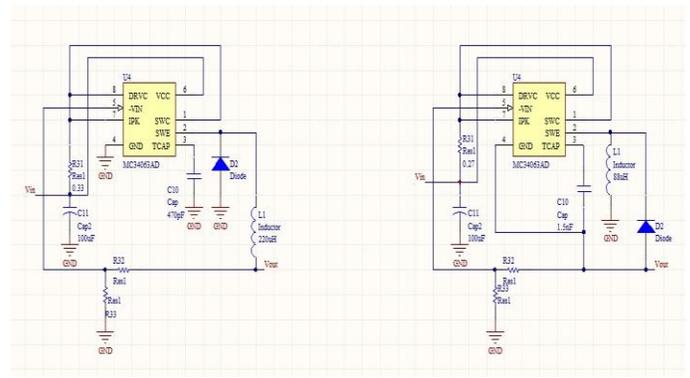
3. RESULTADOS.

3.1. CARACTERIZACIÓN DEL PANEL Y DISEÑO DE CONVERTIDORES.

A continuación se muestran las imágenes de la caracterización del panel solar para conocer su punto óptimo de operación (Figura 9a), y de los esquemáticos de los convertidores diseñados para entregar los voltajes de 5V y 3.3V y -5V (Figura 9b).



(a)

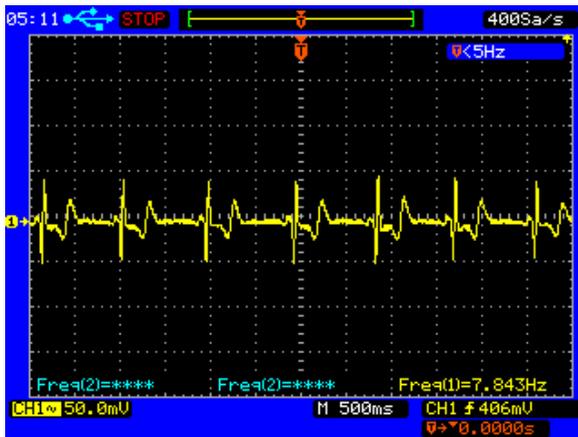


(b)

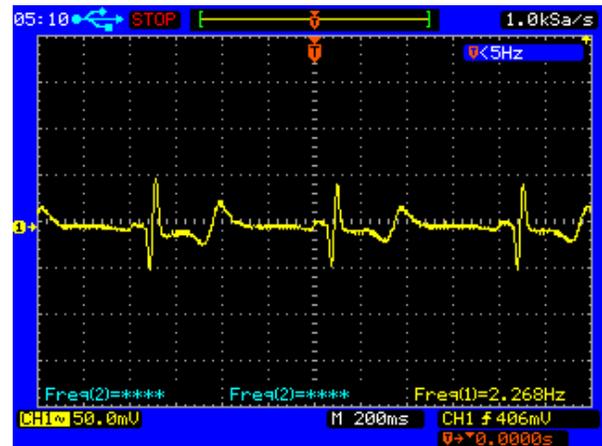
Fig. 9 (a) Curva característica del panel solar utilizado, el punto óptimo de operación corresponde al 80% de su máximo potencial entregado que es aproximadamente 5.6V. (b) Esquemático de los convertidores MC34063 para el diseño del sistema de alimentación, el circuito de la izquierda es la configuración Setp-Down para las alimentaciones de 5V y 3.3V mientras que el de la derecha es la configuración Inverting para -5V

3.2. DISEÑO Y MONTAJE DEL SUBSISTEMA ANÁLOGO.

Inicialmente, el grupo de trabajo ha realizado una serie de pruebas en cuanto a la comprobación del funcionamiento del Subsistema Análogo (Circuito Electrocardiógrafo) que ha consistido en captar las señales cardiacas mediante un osciloscopio. Al conectar los electrodos en puntos estratégicos del cuerpo (brazo izquierdo, brazo derecho y pierna derecha) se han logrado los siguientes resultados visuales (Figura 10).



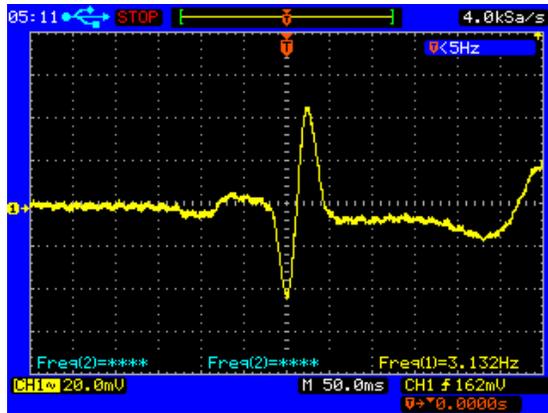
(a)



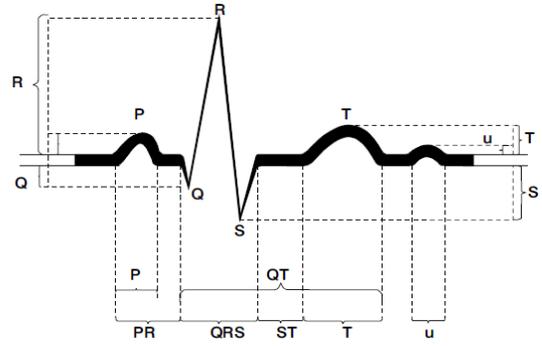
(b)

Fig. 10 Resultados visuales del circuito electrocardiógrafo. (a) Visualización de las señales cardiacas en una escala de tiempo de 500 ms por cuadrícula. (b) Visualización de las señales cardiacas en una escala de tiempo de 200 ms por cuadrícula.

Para poder interpretar las señales de salida es necesario conocer el comportamiento de un pulso cardiaco normal y así comparar los picos naturales con los logrados en este subsistema. Como puede apreciarse en la Figura 11a, las señales captadas presentan una analogía a una señal natural (Figura 11b) de acuerdo a las consultas realizadas (Díaz, E, 2007) (Duque, E, 2007), esto permite afirmar que el subsistema de adquisición de la señal cumple con las expectativas esperadas



(a)



(b)

Fig. 11 a. Señal cardiaca con escala de tiempo de 50ms por cuadrícula. b. Representación real de un pulso cardiaco (Diaz E, 2007). Aquí se observa la presencia de 5 picos que describen la señal: PQRST los cuales sirven de referencia para compararlos con el logrado en el osciloscopio.

Ya conseguida la señal cardiaca, ahora se procede a incluirla en la interfaz de LabView para la primera Etapa de Visualización. La figura 12, corresponde a los pulsos captados por la tarjeta USB-6009 comparada con la Figura 11a. vista anteriormente notando una similitud entre ambos resultados permitiendo acertar en el cumplimiento esta fase del proyecto.

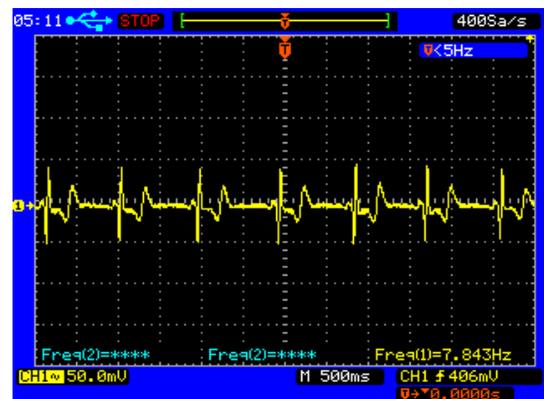
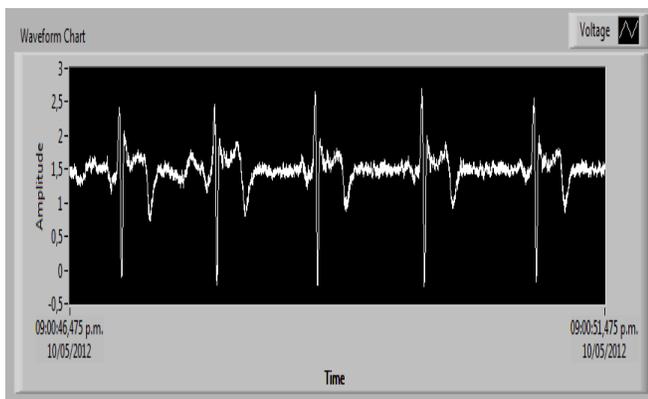


Fig. 12 Visualización de la Señal Cardiaca en la Primera Etapa de Visualización. (Izquierda) Resultado de la Etapa mediante el Software LabView comparado con la señal lograda por el Osciloscopio (Derecha)

3.3. DISEÑO Y MONTAJE DEL SUBSISTEMA DIGITAL.

A continuación se muestra en la Figura 13 el resultado obtenido de la visualización de la señal cardiaca mediante la transmisión inalámbrica a través de la habilitación del puerto VGA de un monitor usando la Tarjeta de Desarrollo NB3000 luego de digitalizar la señal adquirida y transmitirla mediante comunicación serial gracias al Microcontrolador MSP430G2553.

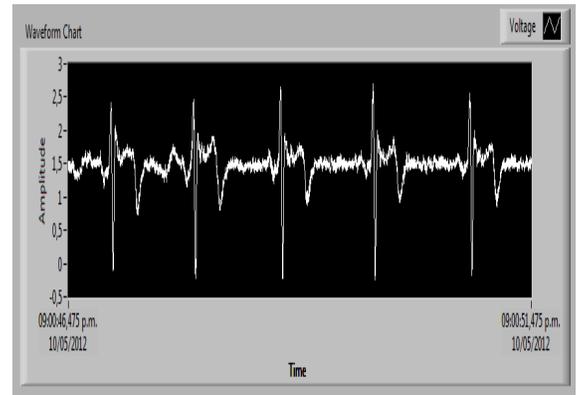
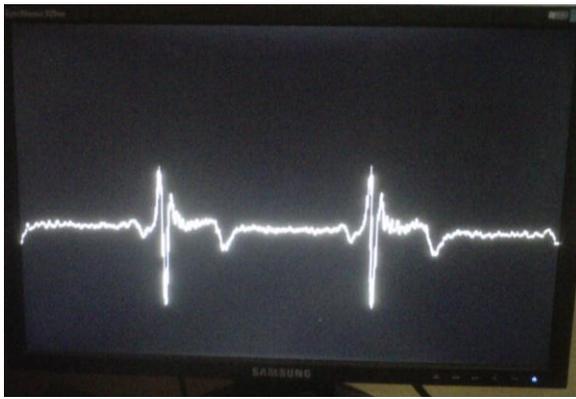


Fig. 13 (Izquierda) Visualización de la señal cardiaca mediante la transmisión inalámbrica comparándola con la obtenida en la parte analógica mediante LabView (Derecha).

3.4. DISEÑO DE LA TARJETA DE CIRCUITO IMPRESO.

Finalmente, utilizando la herramienta de diseño Altium Designer, se realiza la creación de la Tarjeta de Circuito Impreso (PCB) implementando componentes de montaje superficial tal como se muestra en la Figura 13.

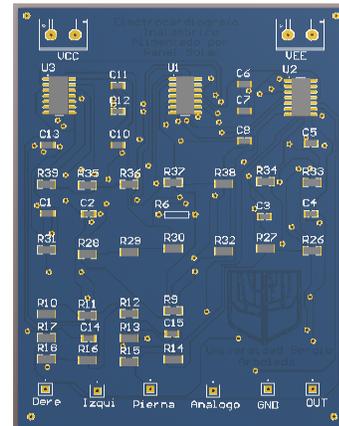
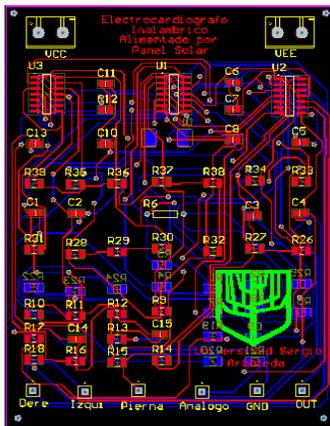


Fig. 13 Tarjeta de Circuito Impreso diseñada para la circuitería del proyecto. (Izquierda) Imagen en 2D. (Derecha) Imagen en 3D.

4. CONCLUSIONES.

- Un sistema de alimentación basado en el diseño de convertidores DC/DC y la caracterización de una celda solar para hallar su máximo punto de energía entregada permite distribuir diferentes potenciales a aquellos subsistemas que lo requieran a partir de una única fuente de energía óptima como lo es la radiación solar. El uso de un panel logra realizar el proceso de carga de una batería adjunta la cual permite el funcionamiento del sistema en su totalidad haciendo del electrocardiógrafo un equipo de uso portátil.
- Un circuito electrocardiógrafo para la adquisición del pulso cardiaco puede construirse a partir de amplificadores operacionales en configuración de filtros pasa-baja quienes rechazan aquellas altas frecuencias que pueden afectar la señal proveniente del corazón como por ejemplo el ruido electromagnético logrando resultados como lo visto en la Figura 10(a) y Figura 10(b) que corresponde a una señal cardiaca pura. Sin embargo debido a que la amplitud del pulso es de unos cuantos milivoltios (aproximadamente de 80mV) se hace necesaria la utilización de otros Amplificadores Operacionales adicionales quienes se encargarán de aplicarle la ganancia necesaria para permitir la visualización analógica

y digital. Además cabe mencionar que el uso de los electrodos debe ser en puntos específicos del cuerpo para tomar una señal de la intensidad suficiente para obtener los resultados logrados en este trabajo.

- Mediante el uso de la plataforma de Software LabView es posible lograr una visualización de la señal análoga mediante los puertos diferenciales que ofrece la tarjeta de adquisición de datos de National Instruments creando una interfaz visual a través de los diferentes instrumentos virtuales del programa (Figura 4) para lograr como resultado una señal cardiaca como pudo verse en la Figura 11 demostrando la gran ventaja que tiene LabView como herramienta gráfica
- Para lograr una transmisión inalámbrica de la señal adquirida mediante el ECG, es necesario utilizar un convertidor análogo digital el cual toma una determinada cantidad de muestras discretas que luego serán enviadas mediante comunicación serial a través de un módulo de transmisión hacia uno de recepción. El dispositivo que permite este proceso es un Microcontrolador el cual mediante lenguaje C es capaz de digitalizar una señal análoga para luego Transmitirla a otro sistema. Estos datos enviados son acogidos mediante una FPGA quien habilita el puerto VGA de la Tarjeta NB3000 para lograr la visualización final a través de un monitor como se obtuvo en la Figura 12.

REFERENCIAS:

Díaz, E., Hernández del Valle, P., Weber, O. (2007). "Sistema de adquisición y registros de señales electrocardiográficas (SARSE)", Instituto Politécnico Nacional, México D.F., Tesis de Grado, pp 1-93.

Duque, E., Henao, R., Álvarez, L. (2007). "Análisis de esquema de filtrado para señales de ECG", Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia, Paper de Investigación, pp 103-108.

Gutiérrez J., Cuenca E., Angulo José., et al (2003). "Electrocardiógrafo Educativo E.C.G.", Universidad de Deusto y Universidad de Granada, Deusto, España; Granada, España, Paper de investigación, pp 1 al 7.

Microcontrolador MSP430G2553 de Texas Instruments

<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430g2553.pdf>

Mitra, S., (2007). "Procesamiento de Señales Digitales. Un enfoque basado en computadora". Editorial McGrawHill, Tercera Edición, México D.F., pp 167 - 219.

Modulo XBee - XB24 Z7WIT-004 de Digi Serie 2, DataSheet PDF.

http://www.digi.com/pdf/ds_xbeemultipointmodules.pdf

Mohan, N., Robbins, W., Undeland, T. (2009). "Electrónica de Potencia: Convertidores, Aplicaciones y Diseño", Editorial McGrawHill, Tercera Edición, México D.F., pp 263 - 303 y 142 - 171.

Rashid, M., (2004). "Electrónica de Potencia: Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones". Editorial Pearson Prentice Hall, Tercera Edición, México D.F., pp 166 - 205.

Sedra, A., Smith, K. (2004). "Circuitos Microelectrónicos", Editorial McGrawHill, Quinta Edición, México D.F., pp 63 - 113 y 1083 - 1124.

Tinoco R., Paredes M., Romero N., et al (2002). "Electrocardiógrafo por Computadora", Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Paper de investigación, pp 1 al 9.