

Prototipo Adquisición y Filtrado Digital de Señales para Fonocardiografía

Prototype Acquisition and Digital Signal Filter for Phonocardiography

Protótipo Aquisição e Filtragem Digital de sinais para Fonocardiografia

William Fernando Bernal Suárez¹, Andrea Liliana Fagua²

Grupo de investigación en Innovación y Desarrollo Tecnológico, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Electrónica, Fundación Universitaria Juan de Castellanos, Tunja, Colombia.

¹ wbernal@jdc.edu.co, ²afagua@jdc.edu.co

Recibido / Received: 17/04/2015 – Aceptado / Accepted: 01/08/2015

Resumen

En el presente trabajo se muestran los resultados del prototipo inicial para la lectura de sonidos cardiacos, para la detección de los parámetros asociados a bradicardias, ritmo normal y taquicardia, haciendo uso de la tarjeta Explorer 16 de Microchip para el filtrado digital y envío de esta información vía serial para su visualización en un PC, mediante una aplicación desarrollada en Labview. Proceso que tiene como finalidad aplicar técnicas de acondicionamiento, muestreo, retención y filtrado de señales, con el fin de facilitar la labor médica en la detección de anomalías cardiacas.

Palabras clave: Procesamiento fono cardiográfico en tiempo real, frecuencia cardiaca, auscultación, filtrado digital.

Abstract

In this paper the results of the initial prototype for reading heart sounds are shown, for detecting parameters related to bradycardia, normal rhythm and tachycardia, using the Explorer 16 card Microchip for digital filtering and sending this information via serial for viewing on a PC, through an application developed in Labview. Process which aims to apply conditioning techniques, sampling, hold and signal filtering, to facilitate medical work in detecting cardiac abnormalities.

Keywords: Phonocardiography processing in real time, heart rate, auscultation, digital filtering.

Resumo

Neste trabalho, os resultados do protótipo inicial para a leitura de sons cardiacos são mostrados, para a detecção de parâmetros associado à bradicardia, ritmo normal e taquicardia, utilizando o cartão micro controlador Explorer 16 para filtragem digital e envio desta informação via serial para visualização em um PC através de um aplicativo desenvolvido em Lab VIEW. Processo que objetiva aplicar técnicas de con-

dicionamento, amostragem, retenção e filtragem de sinais, para facilitar o trabalho médico na detecção de anomalias cardíacas.

Palavras-chave: processamento fono- cardíográfica em tempo real, frequência cardíaca, auscultação, filtragem digital.

I. INTRODUCCIÓN

La detección de parámetros asociados al sonido cardíaco como bradicardias, ritmo normal y taquicardia, haciendo uso de dispositivos electrónicos que permitan mejorar las técnicas de diagnóstico y tratamiento de estas enfermedades, contribuye al apoyo en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades o anomalías cardíacas [1]. La tarjeta Explorer 16 de Microchip cuenta con una serie de características que permiten desarrollar este tipo de aplicaciones en entornos académicos y la aplicación de técnicas de procesamiento digital de señales, ya que cuenta con un DSP que permite tratar a una velocidad adecuada señales cardíacas, el uso de transductores de uso típico en medicina como el estetoscopio, palabra que se deriva del griego **Stethos**= pecho, corazón, **skopeou**= observar), inventado por el médico francés **René Hyacinthe** [2], que amplifica y permite de forma mecánica escuchar los sonidos cardíacos, que se usó e hizo parte importante en la captación de estos sonidos para su posterior tratamiento de forma eléctrica, gracias a un micrófono electrec de buena ganancia, y una buena relación señal a ruido que lo caracterizan. Y dada la necesidad de crear una interfaz gráfica para ser presentada en una laptop de tecnología reciente, lo que ha generado mayor interés por ser este un dispositivo de uso diario y bajo costo, sobre el cual se visualiza la señal cardíaca para su posterior análisis por los médicos, Labview, como lo destaca [3] “por ser un ambiente amigable para el usuario y permitir diseñar interfaces interactivas y fácil integración de dispositivos periféricos”, se utilizó como herramienta software, generándose un diseño comprensible y agradable que suministra los datos como frecuencia cardíaca, almacenamiento de datos y graficación de la señal obtenida.

El presente proyecto es un aporte que acoge, de forma práctica, el desarrollo de un prototipo de equipo para fonocardiografía, valiéndose para esto de la robustez del DSPicp33FJ256GP710A con el

que cuenta la tarjeta Explorer 16 de Microchip. La adquisición y el tratamiento del sonido captado del corazón por medio de esta tarjeta, permite la presentación de la lectura de pulsos cardíacos, asociados a sus respectivos parámetros (bradicardia, normal y taquicardia), bajo el entorno gráfico Labview.

II. METODOLOGÍA

La miniaturización de la electrónica ha permitido adentrarse aún más en el campo de la medicina, en donde la electrónica analógica y la electrónica digital como campos complementarios, permiten fácilmente adquirir señales en tiempo real por medio de sensores, sistemas de acondicionamiento, y tarjetas de adquisición de datos.

El Fonocardiograma es un instrumento utilizado para la grabación de los sonidos asociados a la acción de bombeo del corazón. Estos sonidos proporcionan información de la frecuencia cardíaca y su ritmicidad. También, dan información útil con respecto a la eficacia de bombeo de la sangre y la acción de la válvula [4]. Bajo este principio, se definió el diseño de esta propuesta y la estrategia de trabajo que permitió su implementación y perfeccionamiento del dispositivo en su primera etapa. En términos generales, este prototipo se caracteriza por estar compuesto por cuatro etapas funcionales (Fig. 1):

- La primera realiza la captación de las señales, mediante el uso de un micrófono piezoeléctrico.
- La segunda, adecúa y filtra las señales eléctricas captadas por los sensores.
- La tercera, filtrado digital de la señal.
- Finalmente, una etapa de transmisión de la información a una computadora, donde se extraen los datos para ser presentados para su análisis.



Fuente: Los autores, 2015

Fig. 1. Diagrama de Bloques del Sistema.

El diseño de un sistema con estas características, se basa en cuatro aspectos fundamentales, adquisición de la señal, módulo de procesamiento y almacenamiento de datos, Interface de trasmisión y presentación de la información. Esto parte de un estudio detallado de aspectos, como sistemas embebidos, bioseñales, fisiología humana, sensores, estándares, protocolos de trasmisión, entre otros.

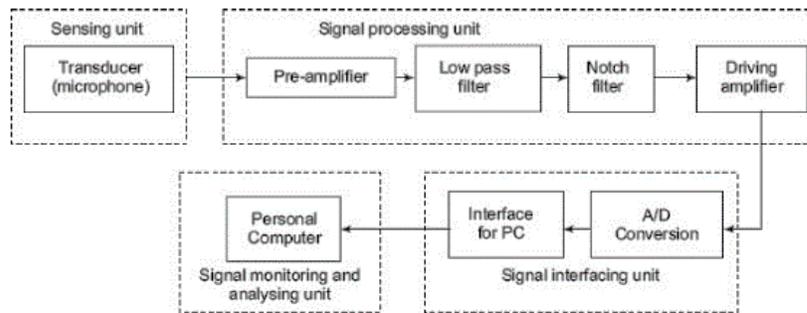
A. Materiales

Este sistema consta de una campana de estetoscopio, una etapa de acondicionamiento, una Tarjeta Explorer

16 de Microchip para el filtrado digital y trasmisión, y un equipo de cómputo con el software Labview, en donde se presentará la información captada.

1) *Métodos:* En el siguiente apartado, se describen los aspectos metodológicos y elementos que componen el sistema.

a) *Adquisición de señal:* En la Fig. 2 se muestra el esquema general para la captación de biopotenciales del corazón, la cual consta de las siguientes partes: Micrófono, Unidad de procesamiento de señal, Unidad de Interface, Unidad de Monitoreo (Interface Gráfica).

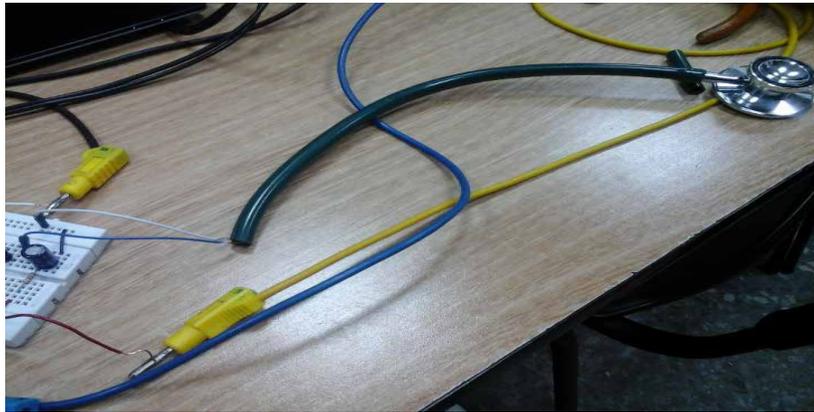


Fuente: G. Juan, 2011.

Fig. 2. Bloques de un Fonocardiógrafo.

b) *Transductor:* Una señal es un medio de transmisión de información, cuya adquisición permite obtener información sobre la fuente que la generó. En el caso de las bioseñales, las fuentes son los diferentes sistemas fisiológicos del organismo. La captación de estas, permite al médico extraer información sobre el funcionamiento de los diferentes órganos para poder emitir un diagnóstico [5] [13]. El micrófono es un transductor acústico – mecánico – eléctrico, es decir, un dispositivo destinado a la conversión de ondas sonoras en energía mecánica y de mecánica en eléctrica. Dada la

importancia de captar correctamente estas bioseñales, nace la necesidad de utilizar un transductor que tengan la suficiente capacidad para asegurar una correcta lectura. Para esto, se utilizó la campana de un estetoscopio adecuada a un micrófono piezoeléctrico, como se muestra en la Fig. 3, donde la campana haciendo un suave contacto con la piel permite escuchar sonidos de baja frecuencia; obteniéndose mejores resultados de lectura, aspecto importante para la obtención de una señal sonora parametrizable, y con el fin de facilitar la recepción de sonido hacia el sistema.

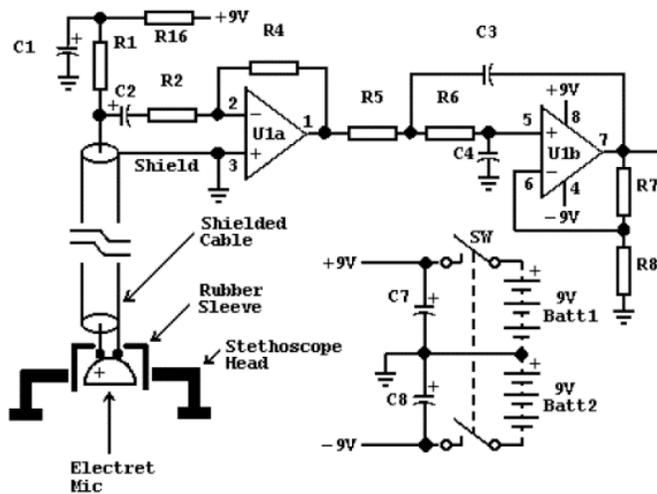


Fuente: Los Autores, 2015.

Fig. 3. Adaptación Campana – Micrófono.

c) *Acondicionamiento y filtrado*: Uno de los mayores problemas al captar las señales del corazón, es la eliminación del ruido debido a efectos parásitos,

este ruido puede estar compuesto por ruido de los elementos del circuito, del medio ambiente, ruido respiratorio, ruido muscular, entre otros [6].



Fuente: L. Hamza, 2014

Fig. 4. Etapa de Acondicionamiento.

El acondicionamiento de la señal proveniente del micrófono (Fig. 4) consta de dos amplificadores operacionales, que se encargan de amplificar y generar un *offset* sobre la señal y los niveles de tensión de la componente dual de la señal de frecuencia obtenida, factor importante a tener en cuenta para eliminar los componentes negativos de la señal y, de esta forma, lograr un correcto tratamiento en el DSP.

El filtrado digital, etapa más importante del presente proyecto (ver Fig. 5), permitió ahorrar recursos hardware, ya que gran parte del proceso se trabajó en el Dspic, aplicaciones analógicas de filtrado resultaron complejas y cambios en las características de filtrado como topología y orden, implicaron considerables cambios en la estructura hardware del sistema; mientras que, el filtrado digital permitió, de forma muy sencilla y solo con un cambio en el firmware, redefinir el comportamiento del filtro sin afectar al hardware.



Fuente: L. Hamza, 2014

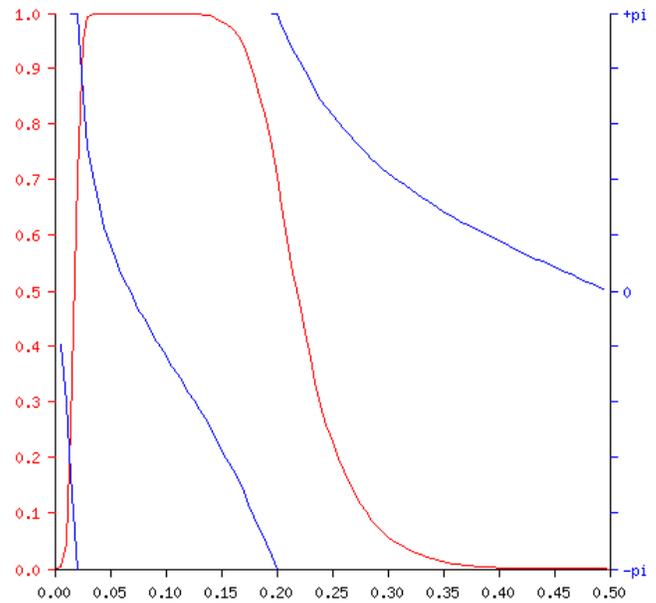
Fig. 5. Filtrado Digital.

El proceso de diseño de un filtro digital implicó comprender la clasificación, en función del criterio de uso. Las dos clases de filtros digitales mayormente usados son los Filtros FIR (Finite Impulse Response) y los Filtros IIR (Infinite Impulse Response) [7] [10], así como el tipo de filtro Butterworth, Bessel o Chebyshev.

El proceso de diseño de un filtro digital requirió cuatro pasos:

- Establecer las especificaciones del filtro para unas determinadas prestaciones. Estas especificaciones son las mismas que las requeridas por un filtro analógico: frecuencias de parabanda y pasabanda, atenuaciones, ganancia dc, entre otras.
- Determinar la función de transferencia que cumpla las especificaciones.
- Realizar la función de transferencia en hardware o software.
- Hallar los coeficientes para cada filtro utilizado.

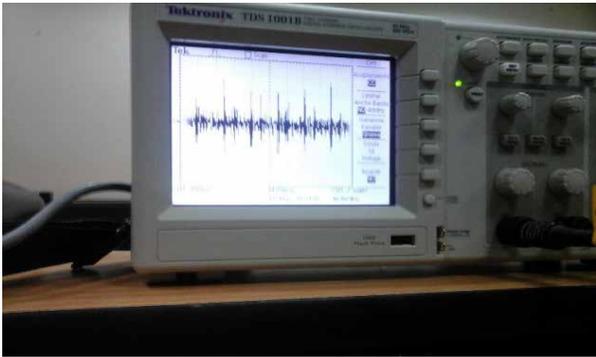
Herramientas como MATLAB y otras interactivas, permitieron calcular los coeficientes del sistema y realizar pruebas de respuesta señal de entrada, respecto a la señal de salida. Aquí, se hizo uso de una herramienta interactiva para el diseño de filtros digitales por método de transformada Z, implementándose filtros Butterworth y Tschebyscheff en rangos de frecuencias entre 10 a 100 Hz (la Fig. 6 muestra la respuesta del filtro Butterworth).



Fuente: Los Autores, 2015

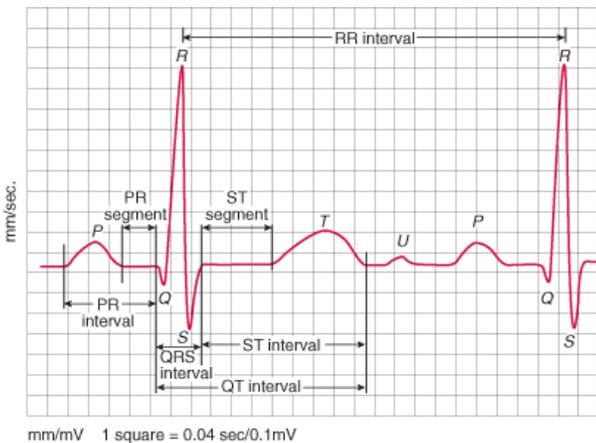
Fig. 6. Respuesta en Frecuencia del Filtro Pasabanda.

Una vez obtenidos los valores de los coeficientes, suministrados por esta herramienta, estos se cargan en el DSP. Este filtro se ha realizado con el objetivo de eliminar ruidos de los elementos del circuito, del medio ambiente, ruido respiratorio, ruido muscular, que puede llegar a captar el micrófono acondicionado al estetoscopio. En la Fig. 7, se ve el resultado de la señal obtenida.



Fuente: Los autores, 2015
Fig. 7. Señal Obtenida.

d) *Procesamiento*: Dado que se requieren características de procesamiento en tiempo real, los procesadores embebidos son una importante herramienta y suelen utilizarse ampliamente en este tipo de aplicaciones. Tarjetas con procesadores incorporados bajo arquitectura ARM, X86 o X64, son los que dan el soporte adecuado para el tratamiento y transmisión de los datos que se obtienen del sistema de censado, en este caso se hizo uso de una tarjeta de la empresa Microchip, la Explorer 16, que de la mano de un Dspic permite agilizar el procesamiento de este tipo de señales. Para la normalización del sistema implementado, se tomó como referencia la señal ECG de una persona sana, para así lograr una parametrización adecuada (ver Fig. 8).



Fuente: http://vpredict.org/formacion/?page_id=141

Fig. 8. Representación de un intervalo RR entre dos latidos consecutivos.

La señal ECG se presenta en la Fig. 9 y Tabla 1, en la cual se tiene el referente de amplitud y tiempo, sobre el cual se definió la velocidad de muestreo en

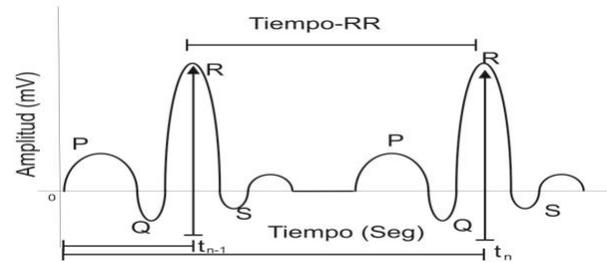
el proceso de conversión analógico-digital de la tarjeta para la señal cardiaca.

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS ESTÁNDAR DE UNA SEÑAL ECG.

PR Interval	QRS Interval	QT Interval	RR Interval
0.12 to 0.20sec	0.08 to 0.10sec	0.4 to 0.43sec	0.6 to 1.0sec

Fuente: http://vpredict.org/formacion/?page_id=141

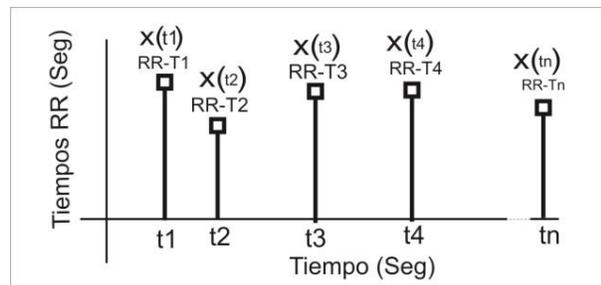
El valor de la frecuencia cardiaca instantánea puede ser estudiado a través de los diferentes valores del Tiempo RR entre cada latido, calculados durante la adquisición de una señal ECG. La Fig. 9 contiene un ejemplo gráfico del valor del Tiempo RR, calculado a través de dos ondas R consecutivas.



Fuente: N. Johann, 2014.

Fig. 9. Tiempo RR estimado a través de la señal ECG.

Con los valores de Tiempo RR tomados de la señal ECG, se genera un arreglo de datos que es denominado la señal de ritmo cardiaco (ver Fig. 10) [8].



Fuente: N. Johann, 2014.

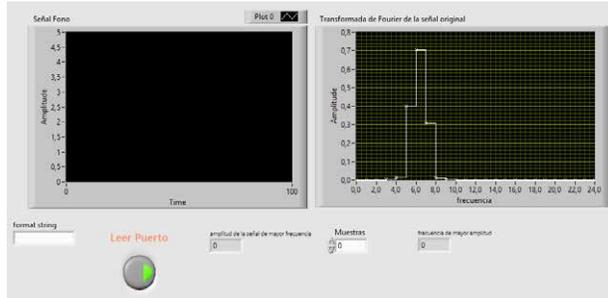
Fig. 10. Señal de Ritmo Cardiaco.

Finalmente, cabe resaltar que un sistema bien implementado debe ser confiable, ya que dentro de sus características están, ahorrar espacio, y debe ser

confiable en calidad de señal y más económico que un equipo convencional.

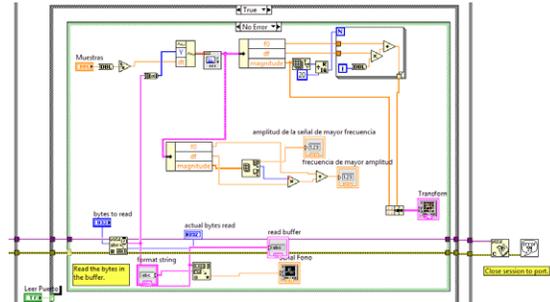
e) *Interfaz gráfica (Labview):* Dada la necesidad de crear una interfaz gráfica entendible y fácilmente manejable, en la cual se pueda visualizar

la señal cardíaca para su posterior análisis por los médicos, se decidió utilizar Labview (ver Fig. 11), como lo destaca [4] “por ser un ambiente amigable para el usuario y permitir diseñar interfaces interactivas y fácil integración de dispositivos periféricos”.



Fuente: Los autores, 2015

Fig. 11. Interface Gráfica.



La interface gráfica tiene la característica de recibir la señal serial transmitida desde la tarjeta Explorer 16, graficarla y calcular parámetros, como Frecuencia cardíaca, valiéndose de Virtual Instruments para la configuración de conexión serial y para cálculos de frecuencia a partir de la trasformada de Fourier.

III. CONCLUSIONES

La fuente de las señales médicas con la instrumentación biomédica son los tejidos vivos o energía aplicada a estos. Esta circunstancia condiciona totalmente los métodos de medida aplicables y los transductores a utilizar.

El diseño de este sistema electrónico, para la adquisición y transmisión de la señal fonográfica, reemplaza otras técnicas y herramientas utilizadas hasta ahora en el estudio del sonido cardíaco, tales como la auscultación y el estetoscopio; debido a que proporciona un conocimiento más completo y real de dicha señal.

Se evidencia que el procesamiento digital de señales simplifica, considerablemente, la estructura hardware, en comparación con un sistema analógico.

Contribuir con herramientas tecnológicas asequibles y adaptables a elementos como computadoras

personales, hace de esto un aporte significativo a la sociedad médica.

Se continuará con el proceso de mejora del prototipo, centrándose en el diseño de una tarjeta para la adquisición de señales cardíacas que contenga las etapas de acondicionamiento, filtrado y transmisión, y así no depender de tarjetas de desarrollo, como la utilizada en esta primera implementación.

REFERENCIAS

- [1] E. Cerquera, “Caracterización de estados funcionales en fonocardiografía empleando análisis acústico y técnicas de dinámica no lineal”, Tesis, UNAL, Bogotá, Colombia, 2005.
- [2] C. E. Nieto G., Auscultación Cardíaca, Presentación, 2013.
- [3] R. S. Khandpur, Handbook of Biomedical Instrumentation, Biomedical Recorders, 3rd Ed., McGraw-Hill Professional, AccessEngineering, 2014.
- [4] B. Rich, LabviewAdvanced programming techniques, Book, Taylor & Francis Group, 2007.

- [5] J. Martínez, “Compresión de fonocardiogramas basada en eventos”, presented at the XXIII Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España.
- [6] K. Abbas, Phonocardiography Signal Processing, Morgan & Claypool Publishers, 2009.
- [7] B. Sravanthiet et al., “Acquiring Ecg Signals And Analysing For Different Heart Ailments”, Int. Journal of Engineering Research and Applications, vol. 5, no. 3, (Part -1), pp. 93-98, Mar. 2015.
- [8] A. Johann, Herramienta informática para el análisis de la frecuencia cardíaca instantánea, Twelfth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI’2014), “Excellence in Engineering To Enhance a Country’s Productivity”, Guayaquil, Ecuador, 2014.
- [9] M. Andrés, “Análisis Acústico sobre Señales de Auscultación Digital para la Detección de Soplos Cardíacos”, Revista Avances en Sistemas e Informática, vol. 4, no. 3, 2007.
- [10] L. Hamza, “Digitals filters in heart sound Analysis”, International Journal of Clinical Medicine Research, 2014. [Online]. Available: <http://www.aascit.org/journal/ijcmr>
- [11] P. Benny, Body Sensor Network – A Wireless Sensor Platform for Pervasive Healthcare Monitoring, Department of Computing, Imperial College of Science, Technology and Medicine.
- [12] H. Ghasemzadeh, N. Amini, R. Saeedi, and M. Sarrafzadeh, “Power-Aware Computing in Wearable Sensor Networks: An Optimal Feature Selection”, IEEE Transactions on Mobile Computing (TMC), vol. 14, no. 4, pp. 800-812, 2015.
- [13] G. Juan, Procesado Digital de Bioseñales, Escuela Técnica Superior d’ Ingeniería, Universidad de Valencia, Valencia, España, 2011.
- [14] N. Johann, “Herramienta informática para el análisis de la frecuencia cardíaca instantánea”, Twelfth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI’2014), Excellence in Engineering To Enhance a Country’s Productivity, Guayaquil, Ecuador, 2014.
- [15] Users, Interactive filter design package, Butterworth/Bessel/Chebyshev Filters. [Online]. Available: <http://www-users.cs.york.ac.uk/~fisher/mkfilter/trad.html>.