

**Revista Electrónica Conocimiento Libre y Licenciamiento Edición Especial:
“Tecnologías libres para el Bien Común Apropriación”**

Derecho de Autor © 2011 de: Ana Rangel, Alexander Olivares, Elisabeth Benitez y Victor Bravo
Investigadores de la Fundación Centro Nacional de Investigación y Desarrollo en Tecnologías Libres
(Cenditel) Algunos Derechos Reservados – Copyleft

La presente obra está liberada bajo una Licencia **Creative Commons**
Atribución Reconocimiento, No comercial, Sin obra derivada 3,0, sin Jurisdicción reportada
para la República Bolivariana de Venezuela, que permite copiar, distribuir, exhibir y ejecutar la
obra, no hacer obras derivadas y no hacer usos comerciales de la misma, bajo las condiciones de
atribuir el crédito correspondiente a los autores y compartir las obras derivadas resultantes bajo esta
misma licencia.



Más información sobre la licencia en: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

ISBN de la obra independiente: No. 978-980-7154-09-3

Deposito Legal No. PPI 201002ME3476

Revista Electrónica:

“Conocimiento Libre y Licenciamiento”

URL para descarga de la obra:

<http://radecon.cenditel.gob.ve/publicaciones/>

[Más información sobre el autor en:](#)

<http://radecon.cenditel.gob.ve>

Imagen de tapa y contratapa ”**El secreto de Los Andes**”

Derecho de Autor © 2011 Luis Trujillo

Algunos Derechos Reservados – Copyleft

Las imágenes de tapa y contratapa están liberadas bajo una Licencia **Creative Commons**
Atribución Reconocimiento, No comercial, Sin obra derivada 3,0, sin Jurisdicción reportada
para la República Bolivariana de Venezuela,
que permite copiar, distribuir, exhibir y ejecutar la obra, no hacer obras derivadas y no hacer usos
comerciales de la misma, bajo las condiciones de atribuir el crédito correspondiente a los autores y
compartir las obras derivadas resultantes bajo esta misma licencia.



Más información sobre la licencia en: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

**Revista Electrónica: Conocimiento Libre y Licenciamiento (CLIC) Edición Especial:
Tecnologías libres para el Bien Común Apropriación**

Editora

Elisabeth Benitez

Comité Editorial

Elisabeth Benitez

Ailé Filippi

Alexander Olivares

Ana Rangel

Maricela Montilla

Luz Chourio

Víctor Bravo

Comité de Árbitros

Dr. Alejandro Ochoa

Msc. Raymond Marquina

Dr. Andrés Chiappe

Dr. César Bravo

Msc. José Joaquín Contreras

Dr. Leandro León

Dr. Oswaldo Terán

Dra. Teadira Pérez

Dra. Patricia Pacheco

Msc. Juan Freire

Lic. Luis Trujillo

Autores

Jhosmary Cuadros, Ruben Medina, Ruben Rojas, Diego Jugo, Tulio Nuñez

Elsa Mora, Rosa Asuaje, José Iguarán, Alberto Medrano, Ana Rangel

José Contreras, Miguel Crespo

Marisela Montilla, Luz Mairet Chourio

Nelson Dugarte

N. García Mora, A Parra, G. Peña, L. Zavala Morillo, F. Palm,

A Balza Quintero, D. Dávila Vera, J.A. Rojas Fernández,

Z Peña Contreras, F.J. Durán, E. Labarca Villasmil,

R V Mendoza Briceño, Ignacio Pollini

Andrea Micangeli, Erwin Paredes, Luis Trujillo

Revista Electrónica: Conocimiento Libre y Licenciamiento “ELCLIC”

Año 2. Vol 1 No. 4

ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL ELECTROCARDIOGRÁFICA DE ALTA RESOLUCIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ENFERMEDADES CARDIOVASCULARES COMO EL MAL DE CHAGAS

Nelson Dugarte

Universidad de Los Andes / Laboratorio de Instrumentación Científica de Medicina, Mérida, Venezuela.

Universidad de Los Andes / Facultad de Ingeniería, GIBULA, Mérida, Venezuela.

Rubén Medina

Universidad de Los Andes / Facultad de Ingeniería, GIBULA, Mérida, Venezuela.

Rubén Rojas

Universidad de Los Andes / Facultad de Ingeniería, GIBULA, Mérida, Venezuela.

Recibido:27/08/11

Aceptado: 15/09/11

Vol. (1) No.(4) Año:(1) Páginas: (55 - 66)

Palabras clave

Digitalización multicanal, Electrocardiograma de alta resolución (ECGAR), enfermedades cardiovasculares.

Resumen

Este artículo presenta el desarrollo de un sistema de adquisición y procesamiento de la señal electrocardiográfica (ECG) de alta resolución (ECGAR). El proyecto consta de una etapa de hardware y una de software. La etapa de hardware permite la captación de la señal ECG del paciente y la digitalización de las 12 derivaciones en forma simultánea. El software de aplicación se diseñó con la finalidad de visualizar en tiempo real y almacenar en el computador las señales adquiridas. Las características de las señales ECGAR son adecuadas para aplicar técnicas de análisis especializadas que permitan estudiar enfermedades cardiovasculares de metabolismo retardado, como el mal de Chagas. En las pruebas realizadas se constató que el sistema presenta errores inferiores al 0,1 % en las mediciones de amplitud y no presenta pérdida de información en la comunicación del hardware con la computadora. También se constató que la representación gráfica de las

señales adquiridas es de muy buena calidad para su implementación por médicos especialistas.

INTRODUCCIÓN.

El *Tripanosoma cruzi*, es el agente causante de la enfermedad de Chagas que infecta a más de 16 millones de personas en América Latina [1]. El parásito a menudo afecta al sistema cardiovascular [2] en un proceso que puede tomar varios años en manifestarse [3] luego de su etapa aguda [4]. En aquellos pacientes con enfermedad de Chagas, más del 60% morirá de manera inesperada aun en ausencia de manifestaciones de daño cardíaco. El estudio serológico que confirma infección por *T. cruzi* es la prueba de Machado-Guerreiro, pero normalmente no se realiza en forma cotidiana y con mayores dificultades se realiza en la población campesina.

El electrocardiograma o ECG, es el registro de las señales eléctricas que se originan como consecuencia del funcionamiento del corazón [5]. El ECG está formado por 12 derivaciones estándar (I, II, III, AVR, AVL, AVF, V1, V2, V3, V4, V5, V6), cada una de las cuales es indicativa de los potenciales eléctricos cardíacos desde diferentes ángulos.

Los electrocardiógrafos convencionales adquieren un máximo de 3 derivaciones en forma simultánea y solo muestran lo más relevante. En los casos de infarto conocidos, se puede diagnosticar una lesión aguda en 24% a 60% de los pacientes [6]. Para una identificación más detallada de los diversos componentes que estructuran los complejos se requiere la adquisición del ECG de alta resolución. Los datos previos de Maehara *et al.* [7] y Delgado *et al.* [8] sugieren que el ECGAR puede ser altamente sensible y específico para detectar la presencia de cardiomiopatía.

En la presente investigación se presenta el diseño de un sistema de adquisición de la señal ECGAR, desarrollado en su totalidad con tecnología propia. Este sistema corresponde a un prototipo que incluye un módulo de adquisición de la señal ECG de 12 derivaciones, interconectable a una computadora mediante un puerto USB, así como el correspondiente módulo de software que permite la adquisición y procesamiento de la señal electrocardiográfica.

METODOLOGÍA.

Este proyecto consiste en el desarrollo un electrocardiógrafo de alta resolución que puede captar todas las derivaciones en forma simultánea. El instrumento está compuesto por una etapa de hardware y una etapa de software, Fig. 1. El hardware, es la parte del sistema que permite la adquisición y

digitalización de la señal ECGAR del paciente. El software está conformado por los algoritmos diseñados para ser implementados en el computador, con la finalidad de captar y procesar la información digital del ECGAR transmitida desde el hardware.

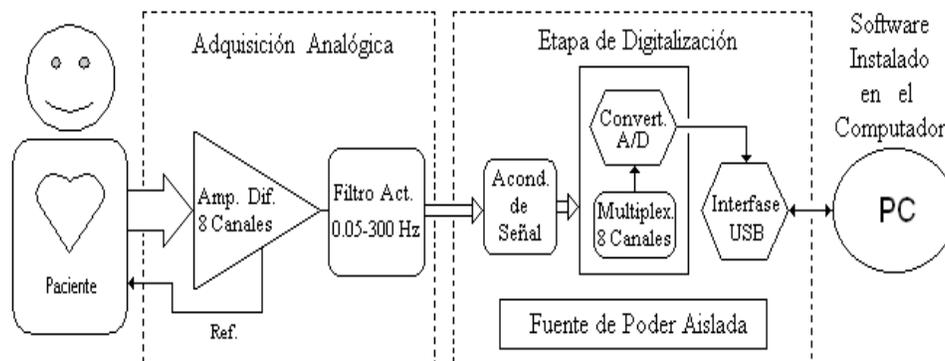


Fig. 1. Diagrama de funcionamiento del sistema.

1. Adquisición analógica de la señal cardiovascular.

En esta etapa se integra un arreglo de 8 amplificadores diferenciales, con un alto nivel de rechazo al ruido en modo común (superior a 100dB) y con un ancho de banda de 0.05 a 300 Hz. Estos circuitos funcionan como amplificadores de biopotencial y están diseñados para amplificar la señal electrocardiográfica con una ganancia de 1000.

La Fig. 2 muestra el circuito eléctrico correspondiente a uno de los canales de la etapa de adquisición analógica. Este circuito amplifica la señal correspondiente a la derivación I. El resto de los circuitos amplificadores de la etapa analógica son idénticos al de la Fig. 2.

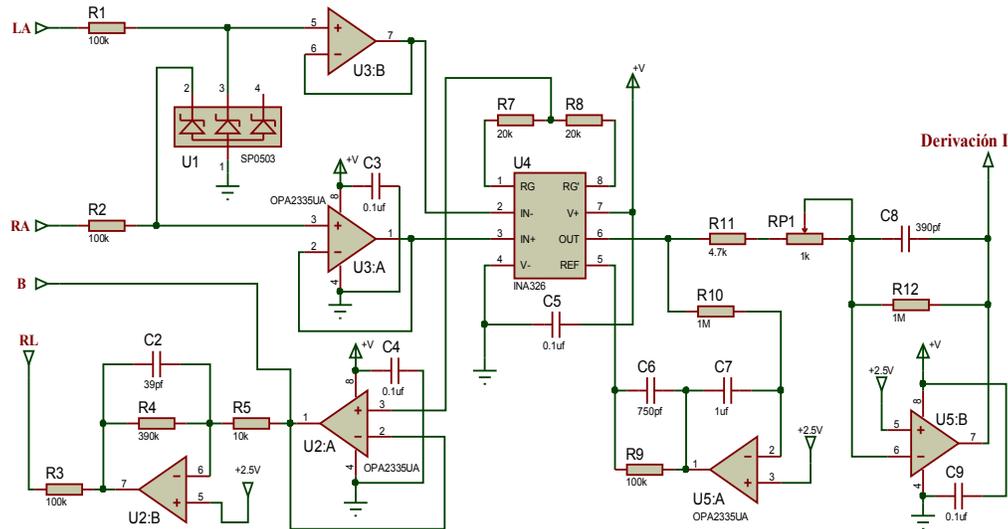


Fig. 2. Diagrama eléctrico de un canal del bioamplificador.

Los 8 canales del amplificador permiten realizar la adquisición simultánea de las derivaciones I, III, V1, V2, V3, V4, V5 y V6. El cálculo de las derivaciones faltantes se realiza en el computador. Con los datos adquiridos, correspondientes a las derivaciones I y III, se calculan las derivaciones faltantes aplicando las ecuaciones (5), (6), (7) y (8).

$$\text{formula } II = I + III \quad (5)$$

$$\text{formula } aVR = -\frac{I + II}{2} \quad (6)$$

$$\text{formula } aVL = I - \frac{II}{2} \quad (7)$$

$$\text{formula } aVF = II - \frac{I}{2} \quad (8)$$

2. Etapa de Digitalización.

Para la digitalización de la señal analógica captada por los amplificadores de biopotencial se desarrolló una tarjeta de adquisición de datos (TAD) multicanal, diseñada bajo los estándares de la de seguridad eléctrica aplicados a la instrumentación médica. La TAD desarrollada, Fig. 3, contiene los circuitos electrónicos que permiten la conversión analógica a digital (A/D) de la señal, la transmisión de la información al computador y la seguridad eléctrica del sistema.

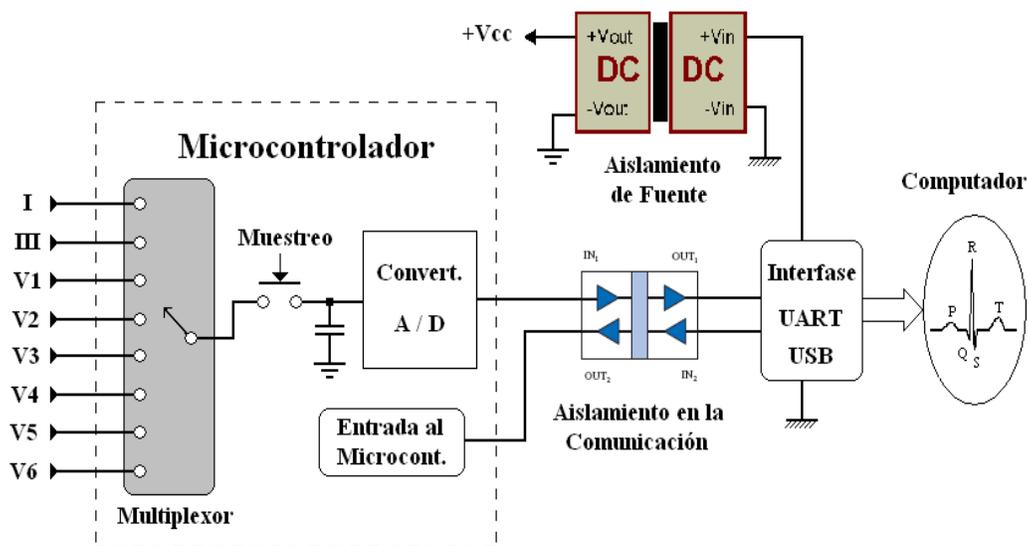


Fig. 3. TAD diseñada para digitalizar la señal ECGAR.

Todo el sistema es alimentado por la fuente del USB (Universal Serial Bus), esto permite que el hardware funcione sin conexiones adicionales.

El dispositivo que se encarga de la conversión A/D [9], es el microcontrolador dsPIC30F3013. La digitalización de cada canal se realiza a 2000 muestras por segundo y con una resolución de 12 bits por muestras.

La comunicación de datos con el computador se realiza vía USB. La velocidad de transmisión de datos es de 500000 muestras por segundo.

3. Software de Adquisición

El software desarrollado, Programa 1, consiste en un algoritmo estructurado, diseñado con la finalidad de captar la información que se transmite desde el hardware del sistema, visualizar la señal en tiempo real y almacenar los datos para el análisis posterior.

Programa 1:

Inicializar variables;

Configurar puerto serial USB

Activar Buffer USB a UART;

Puerto = 460800 baudios, 8 bit por dato, 1 bit de parada;

Drivers = 0;

Repita hasta (Parar = clic)

Detectar sincronismo;

Identificar los pares de datos de 8 bits a concatenar;

Formar los bytes de 16 bits a partir de cada par de datos;

Calcular las derivaciones faltantes;

Ilustrar gráfico según derivación seleccionada;

Almacenar mediante buffer cíclico cada 5 segundos;

Fin de repita $QT_c = QT / ((RR)^{(1/2)})$

Guardar los últimos datos adquiridos;

Salir del programa;

La información se almacena cada 5 segundos, o cuando el usuario finaliza la adquisición. Los datos adquiridos se almacenan en un archivo tipo “csv” (archivos de datos numéricos con formato ASCII).

Resultados.

El desarrollo técnico de este proyecto ha permitido el ensamblado del prototipo funcional del hardware y su funcionamiento en conjunto con el software desarrollado. La Fig. 4, muestra el circuito impreso de la TAD.

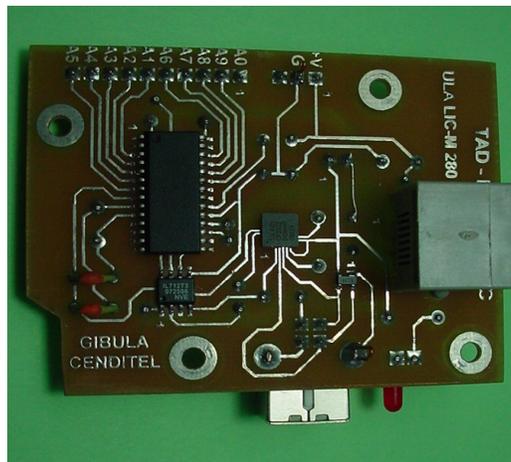


Fig. 4. TAD desarrollada como parte del hardware.

Los componentes de los circuitos de la etapa de adquisición analógica se ensamblaron en el circuito impreso de la Fig. 5.

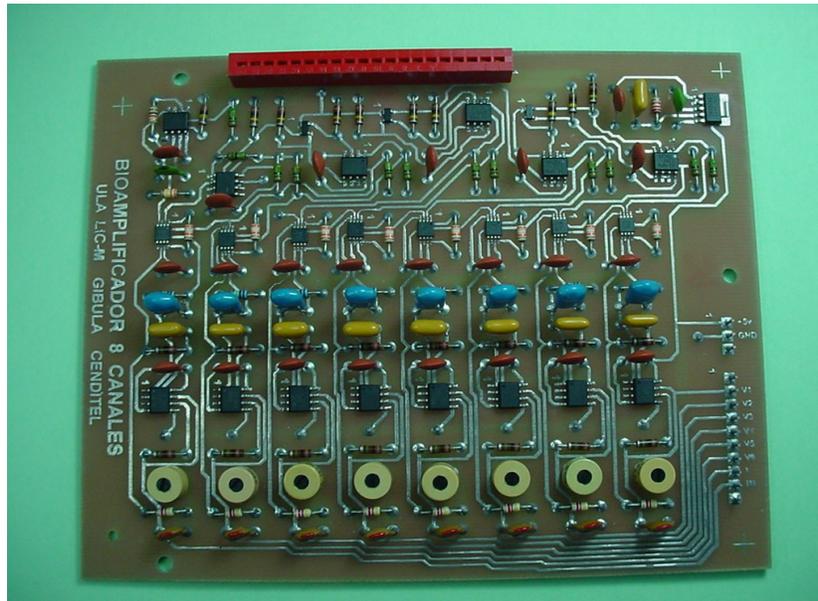


Fig. 5. Amplificadores analógicos del hardware del sistema.

Los circuitos impresos de la TAD y el bioamplificador se diseñaron para se acoplen directamente por un único conector. La Fig. 6 muestra el prototipo ensamblado. Por su cara frontal se conecta el cable del paciente de 10 líneas (cable ECG universal), y por su cara posterior se conecta el cable USB.

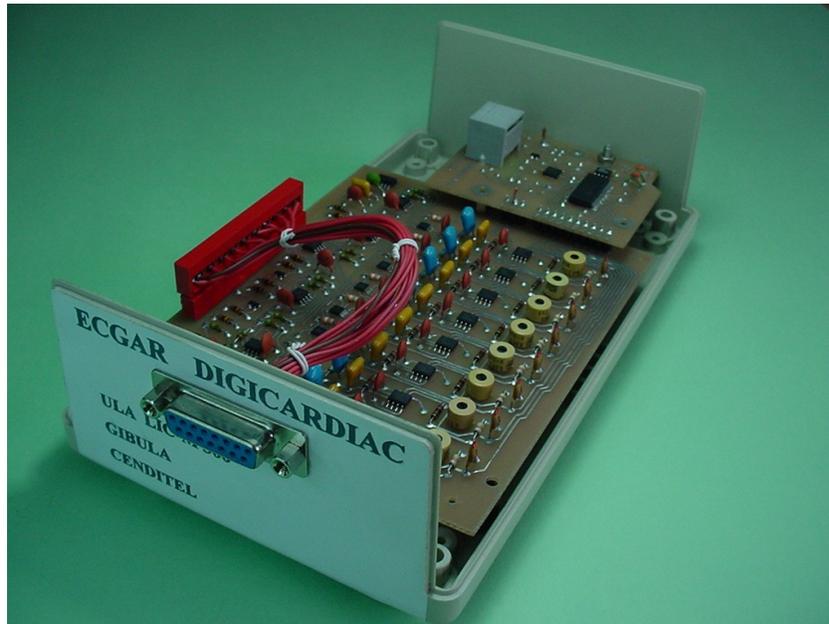


Fig. 6. Hardware del prototipo ensamblado.

La presentación gráfica de la señal se realiza mostrando una derivación a la vez, según el canal seleccionado. La señal se presenta en la pantalla del computador sobre un formato que imita al papel milimetrado utilizado en los electrocardiogramas, Fig. 7. El espacio gráfico es el equivalente a 5 segundos de adquisición, el cual se refresca automáticamente cada vez que el trazado se completa.

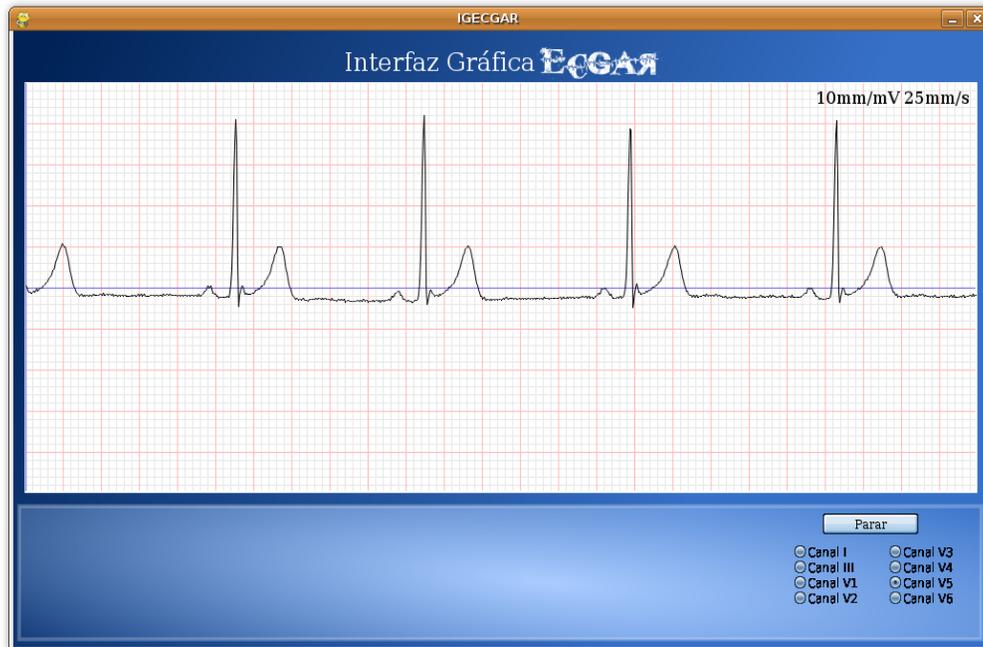


Fig. 7. Gráfica de la derivación V5 del ECGAR adquirida de un paciente control.

Para la validación del instrumento se están realizando adquisiciones del ECGAR sobre un grupo de pacientes control en la Unidad de Cardiología del Hospital Universitario de los Andes. La evaluación visual fue efectuada por médicos cardiólogos adscritos a esta unidad, con excelentes resultados.

El proceso de certificación [10] se realizó en el laboratorio del Instituto Regional de Bioingeniería (IRB), de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) de la república de Argentina. En las pruebas de funcionamiento se constató que el sistema presenta errores inferiores al 1 % en la medición de amplitud, no presenta pérdida de información en la comunicación con la computadora y cumple con todos los requisitos de seguridad eléctrica impuestos por la normativa correspondiente a los instrumentos médicos [11].

Conclusión.

Los resultados obtenidos con la aplicación de las pruebas, han demostrado el óptimo funcionamiento de cada etapa del sistema. Errores inferiores al 1% certifican que el instrumento desarrollado se puede utilizar tanto en diagnóstico como en investigación.

La presente investigación busca en lo posible lograr un impacto directo desde el punto de vista social, que beneficie a los sectores menos favorecidos. Tal requisito se logra al abordar la detección temprana y no invasiva de enfermedades cardiovasculares como el mal de Chagas. Estas enfermedades son la primera causa de muerte, y afectan en gran medida a una población campesina, que a la postre constituye un sector bastante necesitado de atención socioeconómica.

Adicionalmente el desarrollo del prototipo de un equipo médico representa un aporte importante desde el punto de vista tecnológico, que permitirá el desarrollo de técnicas novedosas y avanzadas de procesamiento de la señal electrocardiográfica.

Reconocimientos

Se agradece a CENDITEL, a FONACIT por medio de la Misión Ciencia y al CDCHT por permitir que este proyecto sea factible. También se agradece a la Universidad de Los Andes y a sus instituciones como el Laboratorio de instrumentación Científica de la Facultad de Medicina (LIC-M) y al Grupo de Ingeniería Biomédica (GIBULA), por su apoyo científico y tecnológico. De la misma forma se agradece a la unidad de cardiología del Hospital Universitario de Los Andes (HULA) por su invaluable cooperación en las pruebas de validación del instrumento.

REFERENCIAS

- World Health Organization. Division of Control of Tropical Diseases. (WHO/CTD). Chagas Disease Elimination, 2000. URL <http://www.who.int/ctd/chagas>.
- Rassi A. Jr., Rassi A, Little W. (2000) Chagas' Heart Disease, Clin. Cardiol. 23, 883–889.
- Carrasco H. (1983) Diagnóstico del daño miocárdico en la enfermedad de Chagas. Consejo de Publicaciones, ULA, Mérida-Venezuela.

- Añez N, Carrasco H, Parada H, Crisante G, Rojas A, Gonzáles N, Ramírez J, Guevara P, Rivero C, Borges R, Scorza J. (1999) Acute Chagas' disease in western Venezuela: a clinical, seroparasitologic, and epidemiologic study. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 20:215-222.
- Alfredo M., Pedro I. (2001) "A los 100 años del Electrocardiógrafo de Eindhoven". *Gaceta Médica Mexicana del Instituto Nacional de Cardiología "Ignacio Chávez,"* vol. 137, no. 5, pp. 479 – 484.
- Schlegel T., et al. (2004). "Real-Time 12-Lead High-Frequency QRS Electrocardiography for Enhanced Detection of Myocardial Ischemia and Coronary Artery Disease". *Mayo Clin Proc*, 2004, vol. 79, pp. 339 – 350.
- Maehara K, Kokubun T, Awano N, Taira K, Ono M, Furukawa T, Shimizu Y, Maruyama Y. (1999). "Detection of abnormal high-frequency components in the QRS complex by the wavelet transform in patients with idiopathic dilated cardiomyopathy". *Jpn Circ J* 63:25-32.
- Delgado R, Poulin G, Vrtovec B, Eastwood C, Radovancevic B, Franklin W, Kar B, Schlegel T. (2004). "The utility of high frequency QRS electrocardiogram in the diagnosis of cardiomyopathy". *J Am Coll Cardiol* 43:208A.
- Microchip. (2006) "dsPIC30F3013 Data Sheet". Microchip technology Inc. USA. p. 200. 2006.
- Dugarte N., Rubén M., Rubén R. (2010). "4° Congreso Iberoamericano de estudiantes de ingeniería Eléctrica, CIBELEC 2010". Artículo IB-01. Mérida, Venezuela.
- ISO 9001. "Norma Internacional, Sistemas de gestión de la calidad – Requisitos" Impreso en la Secretaría Central de ISO en Ginebra, Suiza. Número de referencia ISO 9001:2000.