

Caracterización con wavelets de alteraciones electrocardiográficas en pacientes con enfermedad de Chagas

Characterising Chagas' disease patients by means of ECG signals using wavelet transform

Caracterização com wavelets de alterações eletrocardiográficas em pacientes com doença de Chagas

*Fernando Riveros-Sanabria*¹

¹ Ingeniero Electrónico, MSc, Profesor Departamento de Matemáticas; Grupo de Investigación MACRYPT, Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia.
Email: friveros@unillanos.edu.co

Recibido: septiembre 03 de 2014 **Aceptado:** noviembre 17 de 2015

Resumen

Se elaboró un algoritmo para detectar las características de la señal electrocardiográfica (ECG) de pacientes con arritmias cardíacas y pacientes con enfermedad de Chagas crónico del departamento del Meta, y registros de personas sanas haciendo uso de la función wavelet Symlets 7 (sym 7), como una forma alternativa del análisis de Fourier para este tipo de señales. Se creó una base de datos de registros electrocardiográficos (ECG) de alta resolución de personas de la región con afecciones cardíacas y enfermedad de Chagas crónico, quienes fueron informados y aceptaron voluntariamente siguiendo todas las recomendaciones bioéticas. Los registros se tomaron en las instalaciones de la Universidad de los Llanos con un equipo de alta resolución y en derivada D II. Este algoritmo permitió identificar las características más importantes de cada registro ECG de los pacientes con arritmias cardíacas y enfermedad de Chagas, midiendo los intervalos PR, QT, QTc, RR, complejo QRS y amplitudes de las ondas y la frecuencia cardíaca con una exactitud mayor al 98%, convirtiéndose en una herramienta para obtener un mejor diagnóstico de los síntomas de anomalías cardíacas y del mal de Chagas crónico.

Palabras clave: análisis wavelet, complejo QRS, electrofisiología.

Abstract

An algorithm was constructed for ascertaining the characteristics of electrocardiograph (ECG) signals for detecting patients having abnormal heart rhythms (called arrhythmias) and patients suffering chronic Chagas' disease from the Meta department and recordings for healthy people, using the Symlets 7 (sym 7) wavelet as an alternative form of Fourier analysis for this type of signal. A database was created containing high resolution ECG of people from the region suffering heart disease and chronic Chagas' disease who were informed about the study and voluntarily accepted taking part in it; all bioethical recommendations were followed. The ECG recordings were taken in the Universidad de Los Llanos' facilities using high resolution equipment (derivation D II). This algorithm led to the most important characteristics of each ECG recording being identified for patients having abnormal heart rhythms and Chagas' disease. The PR, QT, QTc, RR and QRS-complex intervals were measured, as were wave heights (amplitude) and heart rate with greater than 98% precision,

thereby making this approach a useful tool for obtaining a better diagnosis for symptoms of cardiac abnormalities and of chronic Chagas' disease.

Key words: wavelet analysis, QRS complex, electrophysiology.

Resumo

Foi desenvolvido um algoritmo para detectar as características do sinal de eletrocardiograma (ECG) de pacientes com arritmias cardíacas e pacientes com doença de Chagas crônica, no departamento de Meta, e registros de pessoas saudáveis, utilizando a função wavelet Symlets 7 (sym) como uma forma alternativa de análise de Fourier para este tipo de sinais. Foi estabelecido um banco de dados de eletrocardiograma (ECG), de alta resolução de pessoas da região com doença cardíaca e doença de Chagas crônica, que foram informados e concordaram voluntariamente seguindo todas as recomendações de bioética. Os registros foram tomados nas instalações da Universidade dos Llanos com equipamento de alta resolução e em derivada D II. Este algoritmo identificou as características mais importantes de cada registro de ECG de pacientes com doenças cardíacas e arritmias Chagas, medindo os intervalos PR, QT, QTc, RR, e complexo QRS e amplitudes complexas de ondas e de frequência cardíaca com precisão maior de 98%, tornando-se uma ferramenta para obter melhor diagnóstico dos sintomas de anormalidades cardíacas e doença de Chagas crônica.

Palavras-chave: análise wavelet, QRS eletrofisiologia complexo.

Introducción

El análisis de las señales electrofisiológicas constituye un elemento importante para estudiar el funcionamiento del cuerpo humano, como también identificar y diagnosticar un conjunto amplio de enfermedades cardíacas. La señal electrocardiográfica refleja el funcionamiento eléctrico del corazón, tiene la ventaja de ser un procedimiento médico con resultados disponibles inmediatamente no es invasivo y es económico. Para propósitos de diagnóstico de enfermedades del corazón es de gran valor. El electrocardiograma (ECG ó EKG) es la representación gráfica de los potenciales eléctricos del músculo cardíaco en función del tiempo y recogidos en la superficie de la piel a través de electrodos.

El estimativo de prevalencia de la infección por *Trypanosoma cruzi*, agente etiológico de esta enfermedad, en Colombia es de 1'300.000 habitantes y de 3'000.000 de individuos bajo riesgo de adquirir la infección, siendo Casanare y Meta dos de los departamentos más comprometidos (Guhl F. 1998). En la fase crónica la enfermedad se caracteriza por una reducida parasitemia y lesiones típicas en corazón y tubo digestivo. Durante ésta la patología más importante es la cardiopatía chagásica (Andradre Z, 2000).

La cardiomiopatía chagásica crónica sugiere la participación de la isquemia en su fisiopatología y es posible observar cambios en el segmento ST y onda T, así como ondas Q patológicas compatibles con áreas eléctricamente inactivas. (Marin-Neto y Col, 2007). Un estudio llevado a cabo por la clínica fundación Shaio en 120 pacientes diagnosticados de enfermedad chagásica (Mora M y Col, 1998), reportó que las principales manifestaciones electrocardiográficas fueron:

bloqueo completo de rama derecha (40%), bloqueo aurículo-ventricular de segundo y tercer grado (29,2%), disfunción del nodo sinusal (28,3%), taquicardia ventricular (23%), fibrilación auricular (19%), hemibloqueo anterior izquierdo (17,2%), flutter auricular (3,3%) y bloqueo de rama izquierda (3,3%). Otros hallazgos electrocardiográficos incluyen arritmias ventriculares y bloqueo divisional anterior. Desde el punto de vista electrofisiológico las manifestaciones relacionadas con alteraciones de la conducción AV, disfunción sinusal y arritmia ventricular de alto grado también pueden ser otra forma de presentación (Lázzari JO, 1995; Luquetti A. 1997). Otro estudio que involucró a 205 pacientes chagásicos en tres municipios de Boyacá, los hallazgos electrocardiográficos incluyeron: Bloqueo de rama derecha (14.1%), Bloqueo bifascicular (4.4%) y trastornos de la repolarización (22.4%) (Rosas F y Col, 2002). Los estudios anteriores concluyen que la cardiomiopatía chagásica crónica es la forma más frecuente de cardiomiopatía en América Latina, y allí constituye un verdadero problema de salud pública.

En la enfermedad de Chagas, después de haber sido infectada la persona puede durar entre 10 años a 20 años en un periodo latente (sin sintomatología). Luego el parásito se desarrolla en las células fibrosas del corazón y es cuando el paciente entra en una fase crónica, con afecciones cardíacas complicadas como por ejemplo cardiomiopatía difusa grave (Tentori, Hayes et al., 2001).

Inmediatamente al tomar un electrocardiograma a un paciente con esta enfermedad de Chagas crónico, se pueden observar alteraciones difusas en la repolarización ventricular (ADRV), arritmias, extrasístoles ventriculares, como también alteraciones en el tiempo y

amplitud del complejo QRS, bloqueos en la transmisión interna del impulso eléctrico del corazón, es decir, alteraciones en el electrocardiograma (Neves, Gómes *et al.*, 2010). Las señales electrocardiográficas son variantes en el tiempo, no estacionarias y usualmente afectadas por ruido (temblor muscular, artefactos eléctricos y la red domiciliaria), también son señales muy débiles, del orden de milivoltios (mV) y fracciones de mV. La transformada de Fourier ha sido empleada por un largo periodo de tiempo para el análisis de estas señales, sin embargo esta herramienta presenta deficiencias debido a que en el electrocardiograma están presentes diferentes componentes de frecuencias y además no es una señal estacionaria.

La Transformada Wavelet ha sido utilizada como una alternativa para suplir las deficiencias que presenta la Transformada de Fourier. Es así como el análisis de señales electrocardiográficas, ha venido empleando el análisis con wavelets (ondículas) gracias a su alta capacidad de resolución para visualizar y analizar señales ó imágenes (Aldroubi, Unser 1996) También se ha empleado para reducción de ruido eléctrico en el ECG, detección del complejo QRS, medición de la frecuencia cardiaca (Acharya *et al.*, 2007).

¿Con el presente trabajo se podrá elaborar un método para determinar los parámetros de la frecuencia cardiaca en personas sanas y con el mal de Chagas como también sus características más relevantes del electrocardiograma en pacientes chagásicos con buena exactitud?

Materiales y métodos

Población de estudio: Los registros electrocardiográficos son estudiados por los cardiólogos, para ellos se presenta en ocasiones, alguna dificultad para diferenciar ó resaltar alteraciones electrocardiográficas de estos registros, de ésta manera, se realizó un análisis con la transformada wavelets que sirve de apoyo a un diagnóstico de arritmias cardiacas y la enfermedad de Chagas.

Para esto se creó una base de datos propia de pacientes con afecciones cardiacas como arritmias y con la enfermedad de Chagas del Departamento del Meta con edad entre 30 y 65 años de edad, los cuáles ya habían sido confirmados de ser portadores del parásito (pacientes chagásicos crónicos). Se elaboró e implementó un formato de consentimiento informado para todos los voluntarios. Se utilizó un equipo de Alta Resolución, perteneciente a la Universidad de los Llanos y asesorados por un médico especialista en electrofisiología.

Se usó una función wavelet, la Symlets 7 que mejor se adaptó para aplicar un análisis multiresolución junto con un filtrado de línea base, debido a la similitud de la función con la señal analizada, para ello se elaboró un algoritmo con el programa Matlab, también se utilizó un algoritmo modificado de Pan-Tompkins para determinar las ondas QRS, onda T, inicio y duración del intervalo QT, como también se calculó la frecuencia cardiaca, para que ayude a diagnosticar efectivamente cuándo un paciente posee las características electrocardiográficas de la enfermedad de chagas.

Procedimientos para colecta de datos: Teniendo en cuenta todas las recomendaciones del Ministerio de salud y la Protección Social (Resolución 008430) sobre los aspectos éticos y de bioseguridad en investigación en salud humana y con la colaboración de un médico especialista en electrofisiología se tomó a cada paciente un ECG previo consentimiento informado y firmado por cada voluntario, además con la aprobación del comité de Bioética de la Universidad de los Llanos. Con un equipo marca ADInstruments modelo PowerLab 8/30 de 8 canales y conversor de 16 bits, ubicado en las instalaciones de la Universidad de los Llanos del Estado del Meta durante el año 2014. Se recopilaron registros correspondientes a la derivación D II, con diferentes velocidades de muestreo, predominantemente de 2000 muestras/segundo, amplificación de 1mV y 2mV, y una alta resolución de 62.5 nV (AD-Instruments, 2011).

Extracción promediada en épocas: En todos se procedió a extraer épocas de dos latidos cada una, (ver figura 1) siendo ellas representativas, además de contener por lo menos dos picos R (intervalo RR) para exportarlas como un archivo .tex e importarlas al software Matlab de Mathworks, como un archivo .mat y procesarlas, todas ellas conservando la velocidad de muestreo de 2000 muestras/s. Este proceso se realiza a cada una de las muestras debido a la necesidad de reducir la carga computacional y lograr mayor velocidad de cómputo.

Filtraje del ruido de altas frecuencias: Cada muestra mediante el uso de la Transformada Wavelet Discreta (DWT) se descompuso hasta el nivel once (11). Se probaron las diferentes wavelets como son: la haar, familia daubechies, la coiflet, biortogonal, la reverse-biortogonal, y la meyer), siendo la Symlets 7 la que mejor resultado presentó, debido a su similitud con la señal ECG.

Se observaron los coeficientes de detalle de los niveles 2^1 ; 2^2 ; y 2^3 ; es decir, d1, d2 y d3 que son los niveles

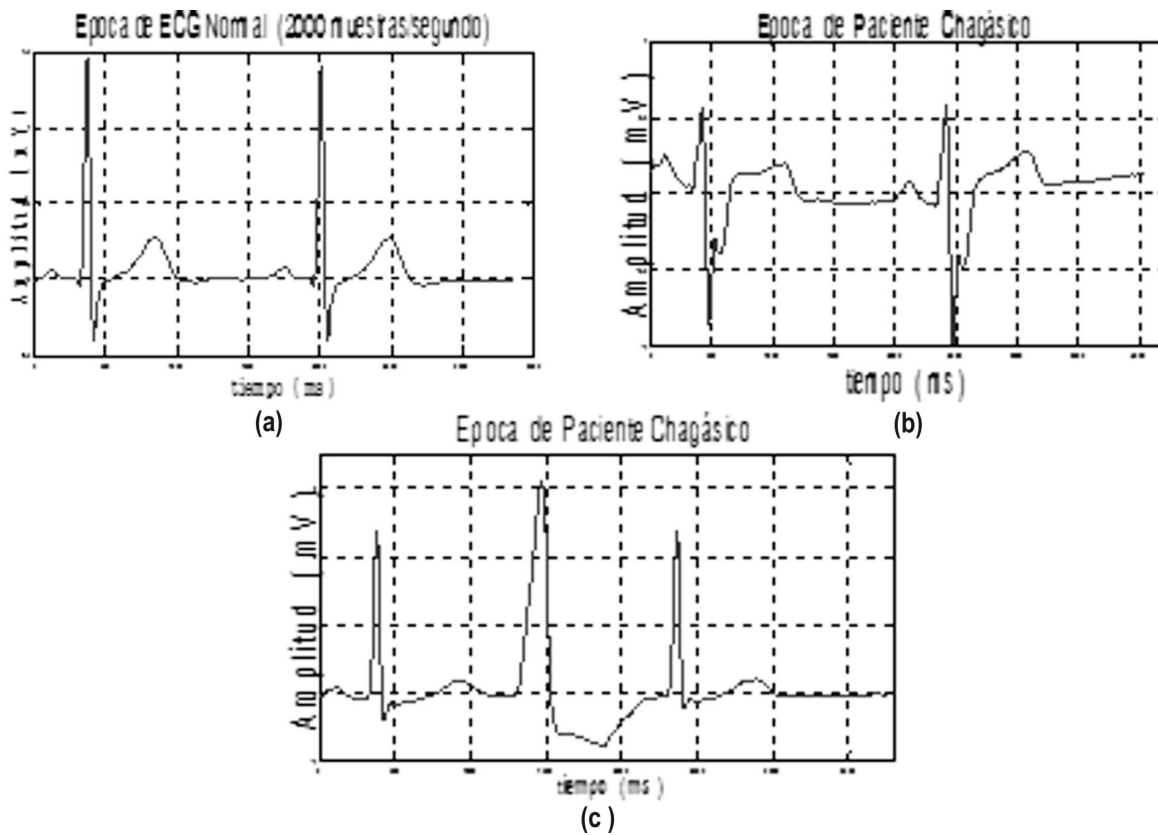


Figura 1. Registros. a) ECG normal, b) ECG Chagásico crónico, c) ECG con arritmia cardiaca

que mayor contiene los componentes de alta frecuencia de la señal.

Se utilizó un algoritmo usando el software que descompone la señal hasta el nivel deseado utilizando el Análisis Multirresolución con la función wavelet Symlets 7, luego se hacen todos los coeficientes de

algunos niveles iguales a cero y posteriormente se reconstruye la señal usando la misma wavelet ya que ésta es ortogonal y permite reconstruir la señal, (ver Figura 2).

Identificación de características del ECG: En esta etapa se adaptó el algoritmo de Pan-Tompkins, con este

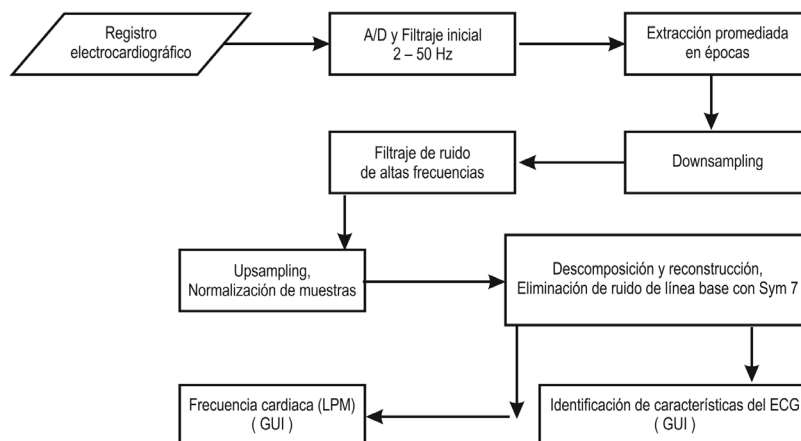


Figura 2. Secuencia del proceso para detección de características del ECG

algoritmo de Pan-Tompkins (Pan, Tompkins 1985) se detectaron los complejos QRS, el cual es un algoritmo básico, pero que en este trabajo fue necesario modificarlo y complementarlo para lograr identificar además las ondas P y T, (su amplitud en mV), su inicio y final, el intervalo QT (inicio de la onda Q y final de la onda T) y QTc (QT corregido) y la frecuencia cardiaca obteniendo una alta efectividad al analizar todas las muestras recopiladas, a pesar de la no homogeneidad de los registros electrocardiográficos propios de las arritmias cardiacas y la enfermedad de chagas, como se pudo observar en cada una de ellas. Para la medición el intervalo QTc se utilizó la fórmula de Bazett (Uribe, Duque, 2005).

La medición de la frecuencia cardiaca en latidos por minuto (LPM) se realizó elaborando un algoritmo luego de encontrar los valores en el eje del tiempo correspondientes a los picos R en cada época (intervalo RR en milisegundos).

Teoría wavelet: En esta sección se hará una breve descripción de las bases ortonormales de wavelets de soporte compacto (Aldroubi, Unser 1996).

Las bases ortonormales de wavelets de soporte compacto de $L_2(\mathbb{R})$ están formadas por dilataciones y traslaciones de una función $\Psi(x)$ por

$$\Psi_{j,k}(x) = 2^{j/2} \Psi(2^j x - k) \quad j, k \in \mathbb{Z}$$

La función tiene una complementaria, la función escala $\phi(x)$, y ambas funciones satisfacen las siguientes relaciones:

$$\phi(x) = \sum_n h(n) \sqrt{2} \phi(2x - n), \quad n \in \mathbb{Z}$$

$$\psi(x) = \sum_n h_1(n) \sqrt{2} \phi(2x - n), \quad n \in \mathbb{Z}$$

Donde los coeficientes $h(n)$ son una secuencia de números reales o complejos llamados coeficientes de la función escala y $h_1(x) = (-1)^n h(1 - n)$.

Las bases wavelet inducen un análisis multiresolución sobre, que es, la descomposición del espacio de Hilbert $L_2(\mathbb{R})$ en un conjunto de subespacios cerrados

$$\dots V_{-2} \subset V_{-1} \subset V_0 \subset V_1 \subset V_2 \subset \dots \subset L_2(\mathbb{R})$$

tales que

$$U_{j \in \mathbb{Z}} V_j = L_2(\mathbb{R}) \text{ y}$$

El complemento ortogonal de V_j in V_{j+1} está definido como W_j , que es,

$$V_{j+1} = V_j \oplus W_j,$$

Esto hace que todos los elementos de V_j sean ortogonales a los elementos de W_j . Se requiere

$$\langle \phi_{j,k}(x), \psi_{j,m}(x) \rangle = \int \phi_{j,k}(x) \psi_{j,m}(x) dx = 0,$$

Para todos los números $j, k, m \in \mathbb{Z}$. El espacio $L_2(\mathbb{R})$ está representado como una suma directa

$$L_2(\mathbb{R}) = \bigoplus_{j \in \mathbb{Z}} W_j.$$

En cada escala fija j , las wavelets $\{\psi_{j,k}(x)\}_{k \in \mathbb{Z}}$ forman una base ortonormal de V_j y las funciones $\{\phi_{j,k}(x) = 2^{j/2} \phi(2^j x - k)\}_{k \in \mathbb{Z}}$ forman una base ortonormal de W_j .

Se tiene ahora construido un conjunto de funciones $\phi_k(x)$ y $\psi_{j,k}(x)$ que podrán generar todo $L_2(\mathbb{R})$. Cualquier función $g(x) \in L_2(\mathbb{R})$ podría ser escrita

$$g(x) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k \phi_k(x) + \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_{j,k} \Psi_{j,k}(x)$$

Como una expansión en series en términos de las funciones de escala y wavelets. En esta expansión, la primera sumatoria forma una función que es una resolución baja o la "aproximación" de $g(x)$. Para cada incremento del índice j en la segunda sumatoria, una alta o fina resolución de la función es adicionada. La cual aumenta los "detalles" de la función ó señal.

Construcción de una gui (graphic user interface):

Utilizando el mismo software Matlab, se creó una Interfaz Gráfica de Usuario como se observa en la Figura 3, para facilitar todos los pasos anteriores y poder observar mejor todo el análisis, de una manera visual, mucho más rápida y simple. En esta interfaz empieza por cargar la señal (se carga la época deseada), épocas estas que ya están normalizadas gracias a la función de resampling. Paso siguiente consistió en descomponer la señal hasta una nivel 11 aplicando el análisis multiresolución.

Se aplicó el algoritmo de Pan-Tompkins mejorado y totalmente complementado para identificar todos los picos y ondas características de la señal ECG en estudio.

Por último se analizó toda la señal de ECG, usando el algoritmo creado para encontrar las amplitudes de todas las ondas que componen el ECG en milivoltios (mV), y los tiempos de los intervalos más importantes del mismo en milisegundos (ms). También se presentó en otra casilla el valor de la frecuencia cardiaca (Latidos por Minuto).

Análisis estadístico

Para determinar el error en la medición efectuado usando el algoritmo y con esta función wavelet Symlets 7 y luego de todo el proceso y la secuencia antes mencionada se midieron las amplitudes en mV y los intervalos en ms, como también la frecuencia cardiaca en latidos por minuto (LPM). Un ejemplo se observa en la tabla 2. Allí también se registran las mediciones efectuadas con un equipo de Alta Resolución. Para poder comparar la exactitud, se evalúa el error de la siguiente manera:

$$\%Error = \frac{\text{medición con equipo Alta Resolución} - \text{medición con algoritmo}}{\text{medición con algoritmo}} \times 100\%$$

Luego para establecer un promedio de la exactitud se toman todos los datos de las mediciones de las amplitudes en mV y se promedian. De igual manera se procede para promediar las medidas de los intervalos en ms.

Promedio de exactitud en medición de Amplitudes: (\bar{A})

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^5 X_i}{n}$$

donde x_i = medida de amplitud en mV
y n = número de mediciones

Promedio de exactitud en medición de Intervalos: (\bar{I})

$$\bar{I} = \frac{\sum_{i=1}^4 Y_i}{n}$$

donde Y_i = medida de intervalo en ms
y n = número de mediciones.

Para la normalización del intervalo QT se designa como QT_c (intervalo QT corregido) y se usa la fórmula de Bazett:

$$QT_c = \frac{QT}{\sqrt{RR}}$$

Donde RR designa el intervalo RR en ms. Y QT designa el intervalo QT en ms, es decir, es la medida del

tiempo entre el comienzo de la onda Q y el final de la onda T.

Resultados

Con base en las relaciones antes mencionadas y aplicándolas a la ÉPOCA 0001 como se puede apreciar en la Tabla 1. La mayor exactitud se obtuvo en la medición de la frecuencia cardiaca (LPM), y le sigue en su orden la medición de los intervalos en ms, y por último se tienen las mediciones de las amplitudes en mV, éste resultado puede obedecer a la falta del filtraje de bajas frecuencias que no se hizo con el equipo de Alta Resolución, por eso se aprecia menor exactitud en la medición de la amplitud de la onda P.

Este mismo análisis se realiza a todas y cada una de las épocas adquiridas de cada paciente y también en registros de personas sin afección cardiaca para poder comparar los patrones normales del ECG con los que tienen afecciones cardiacas.

Una vez aplicado el algoritmo y efectuado un análisis de exactitud a diecinueve (19) épocas, midiendo las amplitudes de las ondas detectadas y los tiempos de los intervalos junto con la medición de la frecuencia cardiaca se obtuvo la tabla 2.

En la Tabla 2 se promedió la exactitud del algoritmo aplicado a las épocas, en la cual se midió las amplitudes (mV) de las ondas P, Q, R, S y T, los tiempos (ms) de los intervalos y la frecuencia cardiaca en latidos por minuto (Stouger 2009). Este resultado se aprecia en la figura 4. Se observó que existe mayor exactitud en la medición de la frecuencia cardiaca debido al mayor intervalo de tiempo medido (intervalo RR), lo que genera menor error en la medida. La menor exactitud se presentó en las mediciones de las amplitudes de las ondas porque al registrar el dato con el equipo de alta resolución, éste no filtró la señal de ruido de bajas frecuencias (ruido de línea base) mientras que con el algoritmo si se realizó y esto causó variaciones en las amplitudes, especialmente de las ondas P y Q.

Como otro resultado se logró identificar algunas alteraciones electrocardiográficas por parte de un especialista en las muestras de pacientes chagásicos en fase crónica una vez aplicado el algoritmo y también en pacientes con afecciones cardiacas como arritmias. Entre otros están: Bradicardias y taquicardias sinusales, bloqueo bifascilar, Alteraciones Difusas en la Repolarización Ventricular (ADRV), depresión del segmento ST, Bajos voltajes del complejo QRS y extrasístoles ventriculares. Tales hallazgos también están presentes en otros estudios (Ferreira, Miziara 1985, Rassi et al., 2000).

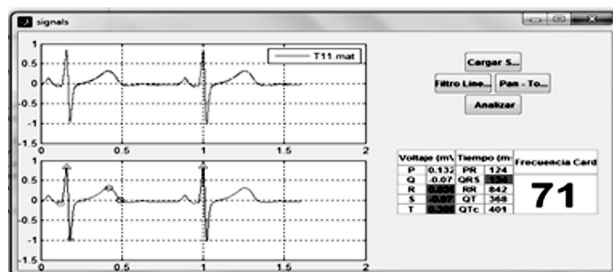


Figura 3. Interfaz Gráfica de Usuario

Tabla 1. Comparación de las medidas realizadas a la Época 0001 con el algoritmo diseñado y con un equipo de Alta Resolución.

Época 0001	Amplitudes (mV)					Intervalos (ms)				Frecuencia cardiaca (LPM)
Característica	P	Q	R	S	T	PR	QRS	QT	QTc	
Resultado con Algoritmo	0.110	-0.129	1.390	-0.839	0.18	129	60	338	359	62
Con equipo ECG de alta resolución	0.128	-0.103	1.380	-0.858	0.186	134	56	338	358	62.6
% de error	16.36	20.15	0.72	2.2	3.33	3.87	6.6	0.0	0.27	0.91
Exactitud	91.45%					97.31%				98.95%

Discusión

Con el presente trabajo se ha logrado elaborar un algoritmo que facilita a los especialistas identificar las componentes más importantes presentes en las señales de ECG. Este detecta las principales ondas características de las señales electrocardiográficas, como también su duración, con un alto grado de exactitud de pacien-

tes con afecciones cardiacas y con la enfermedad de chagas (bajos voltajes del complejo QRS, alteraciones difusas de la repolarización ventricular, extrasístoles ventriculares, taquicardias ó bradicardias) y también de registros ECG de personas sin enfermedad, permitiendo con ello un diagnóstico de las electrocardiopatías presentes, problema éste muy relevante en la detección de enfermedad de chagas crónico una vez tomada la muestra ECG, ya que ofrece una visualización mejor y más amplia de las señales y sus mediciones con la ayuda de una interfaz gráfica que resulta de una ayuda rápida, confiable e incomparable en estos procedimientos.

Este algoritmo usa el análisis wavelet discreto en la descomposición (análisis) y reconstrucción (síntesis) de la señal ECG, que por ser una señal no estacionaria y con diferentes componentes de frecuencias no se facilitaría con otro análisis matemático. Se ha podido concluir que algunas wavelets como por ejemplo la Symlets 7 por su gran similitud con la señal de ECG, ofrece ven-

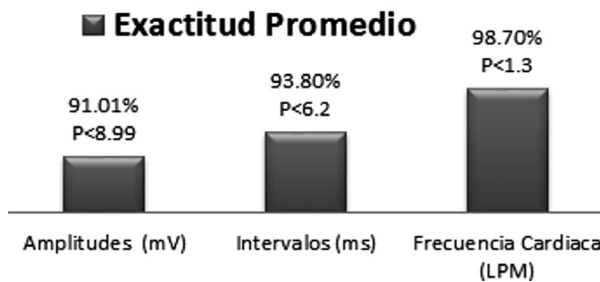


Figura 4. Cuadro comparativo de exactitud promedio del algoritmo.

Tabla 2. Exactitud del algoritmo aplicado a diecinueve (19) épocas

Épocas	Exactitud		
	Amplitudes (mV) %	Intervalos (ms) %	Frecuencia Cardiaca (LPM)
Época 0001	91.45	97.31	98,95
Época 0008	92.70	90.60	98.32
Época 0002	92.25	97,09	93.79
Época 0003	96.78	95.52	99.01
Época 0004	88.32	96.23	97.82
Época 0005	87.89	96.45	97.66
Época 0006	88.64	85.35	95.57
Época 0010	94.22	92.08	97.88
Época 0011	86.65	91.56	98.78
Época 0019	93.11	95.80	99.00
Exactitud Promedio	91.01	93.80	98.70

tajas sobre las demás funciones. Esta función fue empleada desde el comienzo cuando se realizó un filtraje de la señal del ruido de línea base (componente de frecuencia baja) llevada hasta un nivel 11 de descomposición, se eliminaron los coeficientes de detalle de algunos niveles que contenían ruido de alta frecuencia antes de la reconstrucción, para poder luego aplicar el algoritmo que analiza cada señal de ECG, y lograr los resultados adecuados y con la exactitud final obtenida. Además, el algoritmo permitió probar las diferentes funciones wavelets de una forma muy versátil y lograr utilizar la que mejores resultados ofrecía. Esto último ofrece la posibilidad de obtener finalmente un algoritmo con flexibilidad para probar diferentes funciones wavelets y lograr posteriores estudios sobre análisis de señales electrocardiográficas.

Agradecimientos

El autor agradece a la Universidad de los Llanos por el soporte financiero para el desarrollo de esta investigación suministrado a través de la Dirección General de Investigaciones de la misma universidad, como a los aportes y asesoría fundamental e indispensable por parte del profesor José Ricardo Corredor Matus, MVZ, MSc en Fisiología y director del laboratorio de electrofisiología de la Universidad de los Llanos. También a todos y cada uno de los pacientes con afecciones cardiacas y con el mal de Chagas que de una forma voluntaria y desinteresada colaboraron con la presente investigación.

Referencias

Acharya UR, Suri JS, Spaan JAE, Krishnan SM. 2007. Advances in cardiac signal processing ISBN-10 3-540-36674-1. Springer Berlín Heidelberg, New York. p. 467.

Aldroubi A, Unser M. 1996. Wavelets in Medicine and Biology. CRC Press. New York. ISBN: 9780849394836. p. 640.

Andradre Z. Patología da doença de Chagas. In: Brener Z, Andradre Z, Barral-Netto M. *Trypanosoma cruzi* e doença de Chagas. Rio de Janeiro, Brazil 2000:201-230.

Bayes de Luna A, Fiol-Sala M. 2008. Electrocardiography in Ischemic Heart Disease: Clinical and Imagin Correlations and Prognostic Implications. Editorial: Wiley-Blackwell. ISBN 978-1- 4051-7362-9. USA. p. 343.

Ferreira HO, Miziara JL. 1985. Aspectos clínicos da cardiopatia chagásica aguda. In: Cançado JR, Chuster M, organizadores. *Cardiopatia Chagásica*. Belo Horizonte: *Imprensa Oficial do Estado de Minas Gerais*.

Guhl F. 1998. Estado actual del control de la enfermedad de Chagas en Colombia. Editores. Curso-taller control de tripanosomiasis americana y leishmaniasis: aspectos biológicos, genéticos y moleculares. *Corcas Editores*, Bogotá: 47-81.

Lazdins-Held JK, MD.,PhD. Guhl F, MSc. 2007. Enfermedad de chagas. Editores: Fernando Rosas, MD., Diego I. Vanegas, MD., Mauricio F. Cabrales, MD. Sociedad colombiana de cardiología y cirugía cardiovascular. ISBN 978-958-970 65-9-6, p. 324.

Mora M, Barrio A, Nasser J, Sánchez O, Marco D, Gonorazki J, et al. Contribution of the molecular biology technics at Chagas' disease. *Bol Acad Nac Med B Aires*. 1998;76(1):103-118.

Neves A, Gómes Sh, Da Silva S, Da Costa V, Gómes A. Alteraciones electrocardiográficas durante y después del tratamiento con benzonidazol en fase aguda de la enfermedad de chagas autóctona de la amazonía brasileña. Instituto Evandro Chagas. Pará, Brasil. *Rev Pan-Amaz Saude*; 2010;1(2):67-76.

Pan J. and J. Tompkins. A Real-Tiem QRS Detection Algorithm. 1985. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 32, pp 230-236.

Rassi A, Rassi Jr A, Rassi GG. 2000. Fase aguda. In: Brener Z, Andrade Z, Barral-Netto M, organizadores. *Trypanosoma cruzi* e Doença de Chagas. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. p. 431.

Stouger George. 2009. *Practical ECG Interpretation: Clues to Heart Disease in Young Adults*. Editorial: Wiley-Blackwell.NJ,USA. ISBN 978-1-4051-7928-7

Tentori MC, Segura EL, Hayes DL, Armonk NY. Arrhythmia Management in Chagas Disease. ISBN 0-8799-450-6. USA. *Rev Esp Cardiol*. 2001;54:661-662.

Uribe AW, Duque-Ramírez M, Medina-Durango E. 2005. Electrocardiografía y arritmias. P.L.A. Export Editores Ltda. Bogotá. P. 142

AD Instruments. 2011. [Consultada Octubre 15 de 2011]. URL: <http://www.ADInstruments.com/products/hardware/research/produccion/FE132/>

Organización Mundial de la Salud (WHO). Division of Control of Tropical Diseases. Chagas Disease Elimination. Burden and Trends. [Consultado septiembre 10 de 2013]. URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/es>

Zeledon R, Beard C, Pinto-Dias JC, Leiby D, Dorn P, Coura J. 2012. Prevalence of Chagas Disease in Human Beings. An appraisal of the status of Chagas disease in the United States. Elsevier. 55-76pp. doi:10.1016/B978-0-12-397268-2.00005-5