

Sistema de Visualización y Análisis de Señales Electrocardiográficas utilizando Efltk

J. Cuadros¹, R. Medina², N. Dugarte¹, R. Rojas², D. Jugo², T. Nuñez³

¹Postgrado de Ingeniería Biomédica. ULA, jcuadros@unet.edu.ve, nelsond@ula.ve

²Escuela de Ingeniería Eléctrica. Facultad de Ingeniería. ULA, rmedina@ula.ve, rdrojas@ula.ve, djugo@ula.ve

³Hospital Universitario de los Andes, Centro Cardiovascular, tulio@ula.ve
Mérida 5101, Venezuela

Resumen— En este trabajo se presenta una herramienta de software para la adquisición, procesamiento y visualización de señales provenientes de un electrocardiógrafo digital desarrollado en el Grupo de Bioingeniería de la Universidad de los Andes. En dicha herramienta los datos electrocardiográficos son acondicionados empleando algoritmos para la corrección de línea base, eliminación de saltos abruptos, reducción de ruidos, así como detección de complejos QRS mediante algoritmos que ofrece la librería Physiokit. Adicionalmente, se implementan algoritmos para medir la variabilidad del intervalo QT. La herramienta se desarrolla en base a librerías de software libre y de código abierto como Efltk, ofreciendo una interfaz amigable, de fácil manejo, intuitiva, que permite satisfacer los requerimientos informáticos de los médicos e investigadores para la interpretación de los electrocardiogramas. Los algoritmos de procesamiento implementados son validados utilizando como referencia una aplicación similar denominada CardioSoft. La herramienta en desarrollo corre en UNIX/Linux. Como consecuencia del carácter híbrido (empleando herramientas de software libre y de código abierto) será accesible, por lo que podrá ser utilizado en instituciones públicas de salud en la detección de diferentes patologías cardíacas.

Palabras clave— Procesamiento de Señales Electrocardiográficas, Efltk, Physiokit.

I. INTRODUCCIÓN

Las enfermedades cardiovasculares se destacan como una de las principales causas de mortalidad en la población adulta de Venezuela, y también como primer motivo de consulta en los servicios médicos de adultos, de emergencia y electivos. Como consecuencia, se incrementa la demanda de servicios médicos ocasionando severas repercusiones socioeconómicas. De las distintas enfermedades cardiovasculares, las más comunes son: la hipertensión arterial, la diabetes, la cardiopatía isquémica y la isquemia cerebral. La hipertensión es el factor de riesgo más frecuente en los pacientes jóvenes que tienen infarto del miocardio. La forma de muerte prematura más común la constituye la cardiopatía isquémica: el infarto del miocardio y la muerte súbita [1]. Por ello, el uso y desarrollo de técnicas no invasivas como la electrocardiografía abre una perspectiva útil para el diagnóstico y tratamiento en este tipo de pacientes.

En particular, las enfermedades arteriales coronarias como la isquemia y el infarto de miocardio (MI) producen una lesión ventricular que puede originar arritmias ventriculares graves o una probable muerte súbita, debido principalmente a una taquicardia ventricular (VT) que puede derivar en una fibrilación ventricular (VF). En estas

condiciones, uno de los cambios que ocurren en el registro electrocardiográfico (ECG) es la variación anormal de las duraciones de sus intervalos como el RR y el QT [2]. Estas duraciones son importantes en el diagnóstico ya que reflejan procesos electrofisiológicos del corazón y del sistema nervioso autónomo, por lo que son utilizadas para determinar una conducción eléctrica anormal en el corazón, detectar daño en el miocardio y estratificar pacientes con riesgo de arritmias cardíacas malignas.

La medida del intervalo QT es una tarea difícil durante el análisis del ECG y ha conducido a estimaciones inexactas [4]. Es aquí donde se han encontrado dificultades técnicas para desarrollar esquemas automáticos robustos para la determinación del intervalo QT. La mayoría de las aplicaciones semiautomáticas existentes para realizar mediciones del intervalo QT, requieren de interacción por parte del operador para seleccionar el inicio y fin de un intervalo QT inicial, lo que implica consumo de tiempo y recurso humano. La exactitud y la estabilidad en la medición del intervalo QT dependen de la precisión que se logre en la identificación del inicio del complejo QRS y del final de la onda T [3].

Recientemente, Schlegel et al. [4] han desarrollado un software que permite automáticamente monitorear en tiempo real la variabilidad del intervalo QT en los 8 canales independientes de los 12 canales estándar del ECG [4]. Considerando que el prototipo utilizado en [4] si bien pudiese en algún momento transferirse a la industria, podemos predecir que su costo será muy elevado, lo cual dificultara su aplicación en nuestro medio.

En consecuencia, es importante abordar el análisis de las señales de ECG en presencia de dichas patologías con el objetivo de mejorar el diagnóstico, hacer seguimiento y tratamiento en pacientes que padecen de enfermedades cardíacas; para ello nuestra herramienta realiza el estudio de la variabilidad latido a latido del intervalo QT. En la implementación de tales técnicas se han utilizado herramientas de software libre y de código abierto, para hacerla económicamente accesible, de manera que pueda ser utilizada en instituciones públicas de salud para la detección de diferentes patologías cardíacas.

El presente artículo está estructurado de la siguiente manera: se presenta la introducción en la sección 1, luego en la sección 2 se establece un breve marco teórico para definir algunos aspectos médicos del trabajo. En la sección 3 se consideran los detalles del diseño de la herramienta de software. En las secciones 4 y 5 se reportan los resultados y

en las secciones 6 y 7 se realiza una discusión acerca de los resultados y se establecen las conclusiones.

II. MARCO TEORICO

A. Electrocardiograma

El Electrocardiograma es el registro de la actividad eléctrica del corazón medida entre dos puntos de la superficie del cuerpo [5]. Tiene gran valor clínico para diagnosticar trastornos del ritmo, anomalías en la conducción, dilatación de cavidades, isquemia e infartos de miocardio recientes o antiguos, efecto de medicamentos cardíacos y no cardíacos y desequilibrios en el metabolismo electrolítico, y para valorar el funcionamiento de marcapasos electrónicos [6].

Los intervalos de tiempo entre las diferentes ondas del ECG son importantes en el diagnóstico electrocardiográfico, pues reflejan procesos electrofisiológicos y tienen implicaciones clínicas cuando están fuera del margen de variación normal.

El intervalo QT refleja el período total de los procesos de despolarización y repolarización ventricular y se mide desde el inicio de la onda Q hasta el final de la onda T. Los valores normales del intervalo QT dependen principalmente de la frecuencia cardíaca, y el sistema nervioso autónomo. Para corregirlo en función de la frecuencia cardíaca, normalmente se utiliza la fórmula de Bazett: $QTc = QT / (RR)^{1/2}$. Una de las anomalías del intervalo QT es su prolongación, que se presenta cuando el QTc es mayor de 0,44 s. Según se ha mencionado, esta prolongación puede ser primaria (idiopática) o secundaria debida a fármacos, trastornos metabólicos, bloqueo de rama, enfermedad miocárdica, lesiones del sistema nervioso central, disfunción del sistema nervioso autónomo (ANS) y otros trastornos, además de que está asociada a un alto riesgo de arritmias ventriculares malignas y muerte súbita [6].

El intervalo RR es el intervalo comprendido entre dos ondas R consecutivas y dividido entre 60 segundos representa la frecuencia cardíaca por minuto (fc) con un ritmo ventricular regular. La fc en reposo de un ritmo cardíaco normal que nace en el nodo sinusal oscila entre 60 y 100 latidos por minuto, aunque es normal que disminuya con el descanso y el sueño, y que aumente con fiebre, estrés, ejercicio, etc., como sucede en la bradicardia y taquicardia sinusal respectivamente. También se presenta dentro de los límites normales la arritmia sinusal respiratoria, que consiste en variaciones de la fc relacionadas con las fases de la respiración, siendo la fc mayor con la inspiración y menor con la espiración [7].

B. Muerte Súbita

La muerte súbita ocurre cuando el corazón deja repentinamente de funcionar. Generalmente la muerte súbita se considera en términos generales como el fallecimiento en forma inesperada, sin síntomas premonitorios o bien consecutivos a síntomas que se presentaron poco tiempo antes y que ocurre dentro del plazo de una hora después de la pérdida de consciencia. No existe un grupo de edad específico de riesgo para la muerte súbita. Un mal funcionamiento de la actividad eléctrica del corazón genera cambios importantes en el ritmo cardíaco, produciendo la denominada arritmia cardíaca. Estas arritmias afectan la capacidad del corazón para bombear

sangre y hacerla llegar al cerebro y al resto del cuerpo. La falta de flujo de sangre al cerebro se manifiesta a través de la pérdida de consciencia, que posteriormente desembocaría en la muerte súbita cardíaca [8]. Estudios han demostrado que la medición del intervalo QT así como su dispersión y sus modificaciones al cambiar la frecuencia cardíaca tienen importancia preventiva, ello como consecuencia de que una de las causas de muerte súbita en los adultos jóvenes es el síndrome del QT largo, un trastorno de la conducción eléctrica del corazón, que también provoca taquicardia y fibrilación [9].

III. DISEÑO DE LA HERRAMIENTA DE SOFTWARE

A. Entorno de Trabajo

La selección del entorno de trabajo se realizó de acuerdo a las exigencias requeridas para el desarrollo de la aplicación, destacándose entre ellas:

- Interfaz amigable con el usuario.
- Procesamiento Rápido.
- Estructura orientada a objetos (OO).

Por tal razón, se decidió utilizar la librería Efltk [10], en su versión 2.8.0, que es la versión estable más reciente. Se examinaron otras herramientas tales como Gtk [11], Qt [12], Fltk [13], siendo Efltk la librería que mejor satisface las exigencias del diseño. En cuanto al lenguaje de programación se decidió utilizar C++, pues permite que la aplicación no dependa de una plataforma en particular y permite obtener una programación modular. En lo que se refiere al entorno de desarrollo para la implementación del sistema, se seleccionó Eclipse [14], debido a que ofrece una interfaz amigable para el programador, funcionalidad para la depuración de programas y permite trabajar en un ambiente orientado a objetos, el cual es el área de trabajo de la herramienta de visualización seleccionada.

La biblioteca Efltk, soporta varios sistemas operativos, a saber: Windows® / Unix / Mac, entre otros, es de licencia LGPL (Licencia Pública General Reducida de GNU).

B. Descripción de la herramienta de software

Se requiere desarrollar una aplicación de software para el procesamiento y visualización de registros electrocardiográficos (Fig. 1) adquiridos mediante un electrocardiógrafo digital de alta resolución desarrollado en el Laboratorio de Investigaciones Científicas de la Universidad de los Andes [2].

En primer término se emplea un conjunto de técnicas de procesamiento digital de señales para realizar el acondicionamiento incluyendo la corrección de la línea de base, eliminación de saltos abruptos, reducción de ruidos, así como la detección de complejos QRS mediante algoritmos que ofrece la librería Physiokit [15]. Dicha librería es una importante biblioteca de software escrita en C para el procesamiento y análisis de señales fisiológicas. Posteriormente los registros electrocardiográficos son procesados mediante un algoritmo que permite medir la variabilidad del intervalo QT. Para ello, es necesario conocer el inicio del complejo QRS (Q) y el final de la onda T. El inicio del complejo QRS se obtiene a través de la utilización de la librería Physiokit. El final de la onda T se obtiene a través del desarrollo e implementación del

método de máxima pendiente [16]. Por su parte el intervalo QT se corrige mediante la fórmula de Bazett [16].

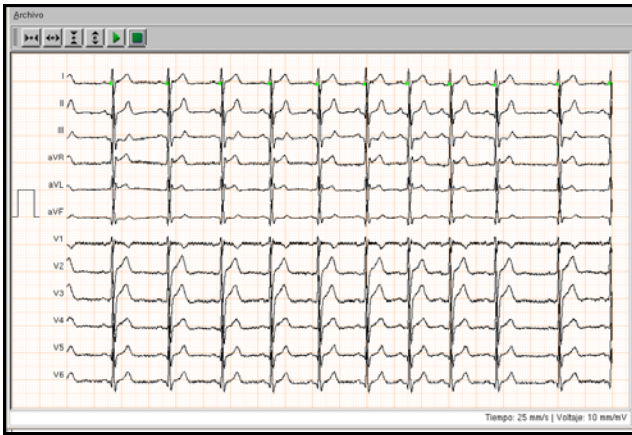


Fig. 1: Aplicación para el Procesamiento y Visualización de Registros Electrocardiográficos.

La Fig. 2 muestra el diagrama de bloques de la aplicación desarrollada para el procesamiento y visualización de archivos electrocardiográficos:

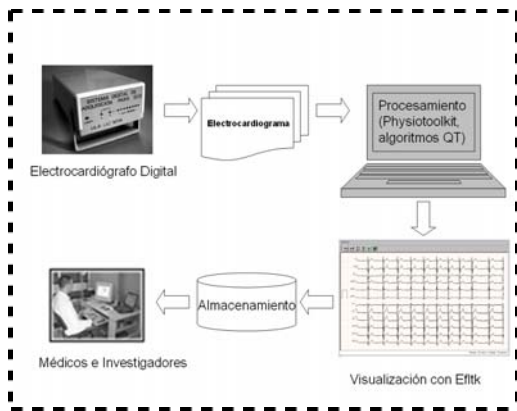


Fig. 2: Diagrama de bloques para la aplicación

IV. RESULTADOS

El producto de la presente investigación consiste en una aplicación que integra técnicas avanzadas para el procesamiento y análisis de señales electrocardiográficas provenientes de un equipo digital desarrollado por Dugarte et al. [2], diseñada con la intención de satisfacer las necesidades de sus usuarios mediante el uso de una interfaz sencilla y flexible a sus requerimientos. Para ello cuenta con una serie de opciones tanto de procesamiento como de visualización, integradas en barras horizontales (menú de opciones y herramientas de acceso rápido) y áreas de graficación donde se mostrará los registros originales y los procesados (Fig. 2).

En la Fig. 3 se muestra un ejemplo típico de cómo se ve el electrocardiograma procesado y sobre la derivación I un marcador del inicio de los complejos QRS. Cabe destacar que el color y tipo de línea son fácilmente configurados por el usuario, así como el tamaño del cuadrado en la cuadrícula, lo que permite aumentar o disminuir la escala de visualización (vertical y horizontalmente).

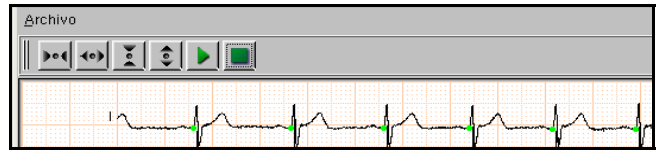


Fig. 3: Visualización de la Derivación I del ECG y el inicio de los complejos QRS.

De igual manera el usuario puede visualizar el tacograma de intervalos RR (intervalo de tiempo entre dos latidos del corazón) como se puede observar en la Fig. 4 y obtener mediciones de las ondas de la señal ECG, así como visualizar el diagrama de Poincare (Fig. 5).

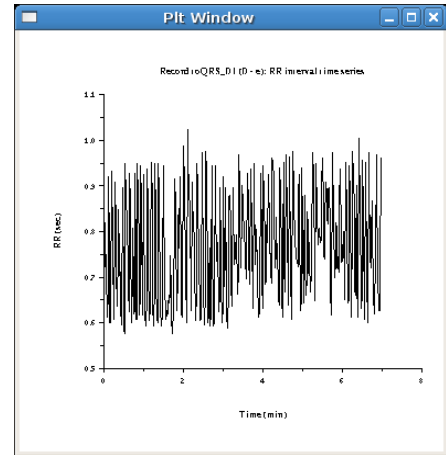


Fig. 4: Tacograma de intervalos RR.

V. PRUEBA DE LA APLICACIÓN

Las pruebas se realizaron con registros electrocardiográficos provenientes de un equipo digital (con una duración entre 6 y 10 min., a una tasa de muestreo de 2000 Hz) desarrollado por [2].

Dichos registros corresponden a dos grupos: pacientes (edad entre 17 y 30 años) que no padecen alguna patología cardíaca conocida, así como pacientes que padecen enfermedad cardíaca conocida como por ejemplo, cardiopatía isquémica.

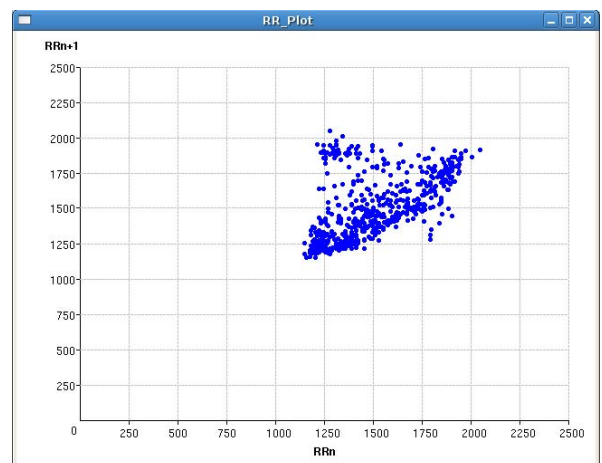


Fig. 5: Diagrama de Poincare.

Un ejemplo de ello se muestra en la Tabla I, en la cual se da a conocer el resultado generado por el algoritmo para calcular el intervalo QT.

TABLA I
RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DEL INTERVALO QT (SEG)

Sano (QT en seg)	Enfermo (QT en seg)
0.369	0.796
0.360	0.310
0.422	0.258
0.414	0.471
0.386	0.462
0.402	0.485
0.371	0.524
0.390	0.442
0.364	0.5764
0.376	0.439
Media ± SD 0.3854±1.2204	Media ± SD 0.4763±1.5690

Como se observa en los resultados, el valor del intervalo QT para la persona sana se encuentra entre los límites normales (0.36-0.42), contrario al paciente enfermo cuyo intervalo QT es mayor al límite normal de 0.42 ó menor al límite inferior normal 0.36, por lo que a través del estudio del intervalo QT se puede determinar si el paciente en estudio padece de alguna patología cardíaca.

VI. DISCUSIÓN

La aplicación se desarrolló empleando programación modular, lo que facilita el mantenimiento del software implementado, así como el desarrollo a futuro por partes de terceros quienes podrán incluir nuevos módulos de procesamiento y/o visualización ó modificar los existentes sin mayores complicaciones. Como consecuencia del carácter híbrido (empleando para su desarrollo herramientas de software libre y de código abierto) será accesible, por lo que podrá ser utilizado en instituciones públicas de salud en la detección de diferentes patologías cardíacas, por lo que contribuirá favorablemente en la salud de la comunidad, en particular aquella población que posee bajos recursos económicos.

Para comprobar el buen funcionamiento de la herramienta diseñada se realizan diferentes pruebas utilizando como referencia una aplicación denominada Cardiosoft [17], así como resultados generados por algoritmos automáticos de medición del intervalo QT desarrollados por [18]. En dichas pruebas se comparan tanto los resultados numéricos como los resultados gráficos.

VII. CONCLUSIONES

Se desarrolló una herramienta para el procesamiento y visualización de señales electrocardiográficas provenientes de un electrocardiógrafo digital [2], bajo el paradigma de desarrollo de software libre, orientado a objetos, utilizando lenguaje C, la librería Efltk (herramienta de visualización) con el entorno de desarrollo Eclipse. Para el acondicionamiento de la señal se utilizó la librería Physiotookit. Adicionalmente, se implementaron algoritmos para medir la variabilidad del intervalo QT, para

determinar si el paciente padece de alguna patología cardíaca.

La confiabilidad de la herramienta se validó utilizando funciones de prueba definidas explícitamente. Adicionalmente se realiza una validación clínica a objeto de estudiar el valor predictivo de la herramienta con respecto al daño cardíaco expresado en términos del re-modelaje ventricular en poblaciones afectadas por alguna patología cardíaca. La herramienta puede ser ejecutada en computadores personales de relativo bajo costo, debido a que demanda pocos recursos computacionales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CDCHT de la Universidad de los Andes por el soporte financiero correspondiente al proyecto I-947-06-07-A.

REFERENCIAS

- [1] J. Acosta. Factores sico-sociales y enfermedad cardiovascular en la crisis. Disponible en: <http://caibco.ucv.ve/caibco/vitae/VitaeDieciseis/Articulos/articulocardiologiaycrisis/ArchivosHTML/introduccion.htm>
- [2] N. Dugarte, R. Medina y R. Rojas, "Adquisición y procesamiento de la señal Electrocardiográfica, basado en la extracción de potenciales intra-QRS e índices de variabilidad del intervalo QT", *CLAIB 2007, IFMBE Proceedings* vol. 18, pp. 198–201, 2007.
- [3] R. González, A. Rodríguez y R. Almeida. "Estudio de la dispersión espacial del intervalo QT", *VI Congreso de la Sociedad Cubana de Bioingeniería*, T098, 2005.
- [4] V. Star y T. Schelgel. "Real-time multichannel system for beat-to-beat QT interval variability", *Journal of Electrocardiology*, vol. 39, pp. 358-367, 2006.
- [5] D. Davis, "Interpretación del ECG", Edición 4ª, *Editorial Médica Panamericana*, Buenos Aires, Argentina, 2007.
- [6] Alvarado, S. "Análisis de la variabilidad de intervalos de tiempo del ECG", *Universidad Politécnica de Catalunya*, B-4723-2003/84-688-0733-8, 2001.
- [7] G. Salazar, "Manual de Electrocardiografía y Electroencefalografía", México D.F, *Editorial El Manual Moderno*, 2007.
- [8] P. Arini, "Estudio y cuantificación de la dispersión de la repolarización ventricular cardíaca a través de la onda T en la señal electrocardiográfica", *Universidad de Zaragoza*, 2007.
- [9] R. Víctor, "Una forma atípica de síndrome QT largo. Heraldos de muerte súbita cardíaca", *Gac Méd*, vol. 116, pp.41-45, 2008.
- [10] Efltk. Disponible en: <http://equinox-project.org/>
- [11] Gtk. Disponible en: <http://www.gtk.org/>
- [12] Qt. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Qt_\(biblioteca\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Qt_(biblioteca))
- [13] Fltk. Disponible en: <http://www.fltk.org/>
- [14] Eclipse. Disponible en: www.eclipse.org/
- [15] Physiotookit. Disponible en: www.physionet.org/physiotookit/
- [16] M. Llamedo, PD. Arini, MR. Risk y P. Laguna, "Evaluación de la corrección del intervalo QT durante el bloqueo del sistema nervioso autónomo y cambios posturales", *Congreso Argentino de Bioingeniería (SABI)*, pp. 071PS, 2005.
- [17] CardioSoft. <http://www.cardiosoft.com>
- [18] I. Christov y I. Simova. "Fully Automated Method for QT Interval Measurement in ECG", *Computer in Cardiology Challenge*, 2006.