

# DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN MONITOR CARDÍACO PORTÁTIL

R. Fernández, J. C. Moraes, R. González  
Instituto Central de Investigación Digital  
Calle 202 #1709 entre 17 y 19, Playa. La Habana, Cuba.  
E-mail: rfernandez@icid.edu.cu  
Laboratorio de Ingeniería Biomédica, Universidad de Sao Paulo

## RESUMEN

En el presente trabajo se exponen y discuten las características de un monitor cardíaco portátil diseñado para el estudio de tres derivaciones electrocardiográficas. El equipo calcula la frecuencia cardíaca promedio cada 15 segundos y mide continuamente el intervalo RR, todo esto se realiza a partir de un detector de complejos QRS basado en una versión de la Función de Velocidad Espacial. Se realizaron los ensayos técnicos necesarios para comprobar que el equipo es seguro para el paciente y se utilizó el monitor a nivel de laboratorio y posteriormente con pacientes para comprobar su efectividad en la adquisición de la señal y en el cálculo de los parámetros citados anteriormente. La efectividad general en la detección de complejos QRS fue superior al 99%.

Palabras clave: electrocardiograma, monitor cardíaco, detección de complejos QRS.

## A PORTABLE HEART MONITOR DESIGN AND EVALUATION

### ABSTRACT

This paper presents a portable three-lead cardiac monitor. The device computes the mean heart rate each 15 seconds and measures the RR interval continuously. The QRS complex detector is based on a version of the Function of Spatial Velocity. Technical tests were developed in order to check patient safety according to international standards and to evaluate the performance of the monitor. The overall effectiveness of the QRS detection process was over 99%.

Keywords: Electrocardiogram, Cardiac Monitor, QRS Complex Detection.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las enfermedades cardíacas son una de tres principales causas de muerte a nivel mundial y es por ello que actualmente se dedican grandes esfuerzos a su estudio, prevención y tratamiento. Con este fin es necesario disponer, entre otras cosas, de la base tecnológica (equipos, sensores, etc.) que permita el estudio del comportamiento del sistema cardiovascular. El presente trabajo se enmarca en este aspecto y su objetivo fundamental fue el desarrollo de un equipo que sirviera de base para la investigación cardíaca.

## 2. METODOLOGÍA

Con el fin de realizar estudios encaminados a establecer la relación entre diferentes patologías cardíacas y la variabilidad y dispersión de algunos parámetros electrocardiográficos, se concibió un equipo que fuera capaz de adquirir simultáneamente tres derivaciones electrocardiográficas (dos bipolares y una unipolar) con el fin transmitir esta información hacia una computadora en la que se realizarían estos estudios. Además, el equipo calcula la frecuencia cardíaca y mide el intervalo RR continuamente.

Desde el punto de vista funcional, el equipo puede dividirse como se muestra en la Figura 1.

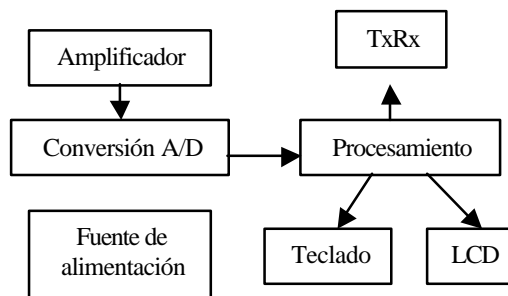


Fig 1. Diagrama funcional del monitor

El bloque de amplificación es el encargado de adecuar la señal para su posterior procesamiento, en cuanto a ancho de banda y amplitud de la señal. El bloque de conversión A/D, por su parte, es el encargado de convertir la señal proveniente del ECG en su equivalente valor digital. El bloque de procesamiento realiza el control de los periféricos y todo el procesamiento digital de la señal, mientras que el bloque TxRx permite enviar la señal captada y los datos procesados a una terminal remota para la realización de otros estudios que necesiten mayores requerimientos de hardware o más potencialidad en las herramientas de procesamiento. La fuente de alimentación genera todos los voltajes necesarios para el funcionamiento del equipo.

### El Software

El software fue desarrollado en el lenguaje ensamblador del microcontrolador PIC16C65 y está almacenado en 4 Kb de memoria EPROM interna.

En este software se encuentra implementado un filtro Hamming para atenuar la influencia del ruido de alta frecuencia, un bloque para la detección del complejo QRS a partir de una versión de la Función de Velocidad Espacial [2], la transmisión serie del ECG o de las mediciones del intervalo RR a 56 KBAud y la atención a teclado y graficación del ECG en una pantalla de cristal líquido (LCD) de 240 x 128 puntos.

La detección de complejos QRS dentro de la señal de ECG constituye la parte fundamental en el procesamiento de la señal de ECG.

La Función de Velocidad Espacial (FVE) descrita por Peter McFarlane [3] es definida por la expresión:

$$y(k) = \sum_{i=1}^c [x(i,k) - x(i,k+1)]^2 \quad [1]$$

donde C es la cantidad de derivaciones captadas.

Esta función fue modificada para su aplicación, ya que la función original considera la adquisición simultánea de ocho derivaciones y en éste caso se utilizaron solamente tres. Además, se incluyó en la expresión de la función el estado de los electrodos (conectados o no) de forma tal que se anule el efecto negativo que puede provocar la caída de electrodos.

Para comenzar la detección de los complejos QRS se establece una fase de aprendizaje de tres segundos en la que se busca el máximo valor de la FVE con el fin de establecer un umbral de detección en el 20% de este máximo. Posteriormente, se inicia la fase de detección y periódicamente se actualiza el valor máximo de la FVE y se modifica el umbral con el fin de que el detector se adapte a los cambios que pueden producirse en el ECG en tiempos prolongados de monitoreo.

A partir de la detección del complejo QRS fue calculada la duración del intervalo RR, para ello se utilizó como punto fiducial el pico de la onda R que fue definido como el mayor valor positivo de la señal dentro del complejo QRS. Los límites de la zona del complejo QRS en que puede encontrarse el pico de la onda R se definieron como el 5% del valor máximo de la FVE. Este criterio se obtuvo experimentalmente. El proceso explicado siempre se realizó sobre una de las derivaciones bipolares.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizaron ensayos con el fin de:

- Comprobar las especificaciones técnicas con las que fue concebido el equipo.
- Garantizar que el equipo satisfaga las normas de seguridad establecidas internacionalmente.
- Comprobar su funcionamiento estable y preciso en la práctica.

El algoritmo para la detección de los complejos QRS fue validado a través del análisis de eletrocardiogramas obtenidos a partir de simuladores y seres humanos. La validación de los algoritmos fue realizada en la etapa inicial con simuladores de ECG, generando diferentes formas de ondas con diferentes frecuencias cardíacas. En una segunda fase los algoritmos fueron validados en voluntarios.

Para la evaluación con simuladores, se fijaron frecuencias cardíacas conocidas y dos especialistas estuvieron anotando los latidos que fueron dejados de detectar y si se producían falsos positivos, o sea, si el equipo detectaba complejos QRS en zonas del ECG correspondientes a otros eventos. Cuando la evaluación se realizó con humanos, a las tareas anteriores hubo que agregarle el conteo de todos los latidos pues la frecuencia cardíaca no era conocida y por tanto no se podía calcular a priori la cantidad de latidos existentes en el tiempo estudiado.

Los resultados obtenidos durante la validación del algoritmo serán expuestos en las tablas que se presentan a continuación:

Tabla I. Validación del detector de QRS con un simulador modelo 601 PRO de Bio-Tek Instruments calibrado por LABELO PURCS.

Señal de entrada	Complejos QRS presentes	Complejos QRS detectados	% de acierto
ECG normal 60 latidos por minuto	10 800	10 691	98,99
ECG normal 120 latidos por minuto	21 600	21 505	99,5
ECG normal 240 latidos por minuto	43 200	42 879	99,25
Taquicardia Ventricular	10 800	10 587	98,02

Tabla II. Resultados de la validación del método de detección de los complejos QRS con un simulador diseñado y producido en el Laboratorio de Ingeniería Biomédica de la Escuela Politécnica de la Universidad de São Paulo [1]

Señal de entrada	Complejos QRS presentes	Complejos QRS detectados	% de acierto
ECG 80 latidos por minuto	28 800	27 970	97,12

Tabla III. Resultados de la validación con voluntarios.

Complejos QRS presentes	Complejos QRS detectados	% de acierto
7 927	7 830	98,77

En todos los casos los resultados obtenidos en la detección del complejo QRS fueron buenos, con porcentos de acierto superiores al 97 %, obteniéndose los peores resultados con el simulador diseñado en el Laboratorio de Bioingeniería de la Universidad de Sao Paulo, por las características morfológicas de la onda conformada en dicho equipo que, en muchos casos, no cumplía con todas las características reales del complejo QRS. También fue verificada la calidad de la señal mostrada en el LCD con resultados satisfactorios. Es importante destacar que no se produjeron falsos positivos en la detección de complejos QRS, o sea, nunca el algoritmo identificó como complejo QRS a una zona del ECG que no lo fuera.

Se realizaron ensayos para conocer la eficacia del método al ser captada una, dos o tres derivaciones, obteniéndose los resultados mostrados en la tabla siguiente:

Tabla IV. Resultados comparativos de la efectividad del algoritmo de detección de los complejos QRS con la utilización de una, dos y tres derivaciones.

Cantidad de derivaciones	Complejos QRS presentes	Complejos QRS detectados	% de acierto
Una	4 800	3 015	62,81
Dos	4 800	4 008	83,5
Tres	4 800	4 759	99,14

El ensayo fue realizado con el simulador diseñado y producido en el Laboratorio de Bioingeniería de la Universidad de Sao Paulo, con una señal de ECG normal de 80 latidos por minuto. A partir de la tabla puede ser fácilmente concluido que la efectividad del algoritmo es mucho mayor mientras más derivaciones sean captadas.

El monitor estuvo funcionando en el Instituto de Corazón de Sao Paulo, a manera de prueba y actualmente se utiliza en el Laboratorio de Ingeniería Biomédica de la Universidad de Sao Paulo en el desarrollo de diferentes estudios basados en el ECG.

## 5. CONCLUSIONES

El objetivo planteado fue cumplido totalmente pues se obtuvo un monitor cardíaco portátil para la adquisición y visualización de hasta tres derivaciones, con cálculo del valor de frecuencia cardíaca y la evaluación estimada de la duración del intervalo RR. Los resultados de las pruebas técnicas y clínicas fueron satisfactorios. El equipo servirá de plataforma de hardware para el desarrollo de diferentes investigaciones sobre el ECG.

## REFERENCIAS

- [1] GOMES, J. Simulador de Sinais Cardíacos. Dissertação de Mestrado, Sao Paolo, Brasil 1999.
- [2] GONZÁLEZ R.I. Análisis Computadorizado de Electrocardiogramas. Caderno de Engenharia Biomédica , vol.13, No. 3, p- 139 - 148 , Julho 1997.
- [3] MACFARLANE P. et al. "Mingocare: Un nuevo programa para la interpretación electrocardiográfica asistida por Computador."