

# Registro de una Señal Electrocardiográfica por Medio de Matlab y DSP56F807

Laura Constanza Cárdenas Maestre\* / Librado Andrés Montezuma Gómez\*\* / Nayibe Chio Cho\*\*\*

## RESUMEN

Este artículo presenta el diseño de un equipo que realiza el procesamiento digital de una señal electrocardiográfica, a partir del módulo de evaluación DSP56F807 de Motorola. En primera instancia se llevó a cabo la adquisición de tres derivaciones o señales cardíacas con la ayuda de un cable ECG de cinco canales, de los cuales se utilizan cuatro conectados a un paciente por medio de electrodos ubicados en el brazo derecho, el brazo izquierdo, la pierna izquierda y la pierna derecha.

Posteriormente, las señales son enviadas a una tarjeta analógica de adquisición de datos, en donde se realiza el acondicionamiento de estas por medio de filtrado y amplificación. A continuación se envían las señales a una tarjeta encargada de agregar una componente DC con el fin de conseguir que los registros se encuentren dentro del rango de 0 a 3.3V.

Con ayuda del *software codewarrior* se realiza la configuración de los registros del conversor, a la implementación de un filtro digital FIR pasa bajas y de la comunicación serial del módulo de evaluación con el PC.

Con MATLAB se diseñó el filtro FIR pasa bajas y se programó la recepción y el empaquetamiento de datos, así como una interfaz de usuario que permite la visualización y análisis de las tres derivaciones con ayuda de una herramienta de apoyo diagnóstico.

**Palabras clave:** electrocardiografía, amplificadores de instrumentación, filtros analógicos, filtros digitales (FIR), codewarrior, DSP56F807, módulo de evaluación, MATLAB.

\* Ingeniera Mecatrónico, Universidad Autónoma de Bucaramanga. Correo electrónico: lcardenas5@unab.edu.co

\*\* Ingeniero Mecatrónico, Universidad Autónoma de Bucaramanga. Correo electrónico: lmontezuma@unab.edu.co

\*\*\* Ingeniera Electrónica Universidad Pontificia Bolivariana – Bucaramanga; Postgrado en Técnicas de Gestión Empresarial. Universidad de Barcelona, UB, España, Especialista en Docencia Universitaria. Universidad Industrial de Santander, UIS, Especialista en Automatización Industrial y Profesora Facultad de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Autónoma de Bucaramanga UNAB. Correo electrónico: nchio@unab.edu.co

Fecha de envío: 2 de marzo de 2007

Fecha de aceptación: 10 de abril de 2007

## **ELECTROCARDIOGRAPH SIGNAL WITH MATLAB AND DSP56F807**

### **ABSTRACT**

This article presents the design of a device that makes a digital process of electrocardiograph signal, from the evaluation module DSP56F807 of Motorola. First, it was necessary to acquire 3 cardiac derivations or signals with the help of a 5 channel ECG wire, 4 of which are plugged to a patient by electrodes located in the right arm, the left arm, left leg and right leg.

Later the signals are sent to an acquisition data analog card, where it does the preparation of those by filtration and amplification. Then, the signals are sent to a card which adds a DC component in order to make the records be inside the rank from 0 to 3.3V. With the

help of the codewarrior software, the setting of the converter records is made, the implementation of a FIR digital low pass filter and the serial communication of the evaluating module with the PC.

With MATLAB the FIR low pass filter was designed and the reception and data packing were programmed, as well as a user interface that allows visualization and analysis of the 3 derivations with the help of a diagnostic support tool.

**Key words:** Electrocardiography, instrumentation booster, analogue filter, digital filter (FIR), codewarrior, DSP56F807, evaluation module, MATLAB

## INTRODUCCIÓN

Un electrocardiograma permite obtener un registro de información de la función del corazón, registrando los impulsos eléctricos que lo estimulan y que producen su contracción, este registro de la actividad eléctrica del corazón, se obtiene a partir de unos electrodos que se colocan en determinadas partes del cuerpo del individuo (Texas Herat Institute, 2006).

La necesidad que existe de incentivar la investigación en el área del procesamiento digital de señales y de la biomédica, pretende que se implementen los conocimientos necesarios para el manejo de tratamiento de señales en sistemas aplicados de la bioingeniería.

## METODOLOGÍA

Este proyecto comienza con la revisión del estado del arte y la realización de una síntesis teórica de electrocardiografía clínica y diagnóstica (Cárdenas y Montezuma, 2006). La etapa posterior es la de la adquisición y acondicionamiento de las señales electrocardiográficas. Allí se realiza una detallada selección de componentes donde se van descartando posibilidades de diseño y a través de una retroalimentación pormenorizada de simulaciones, montajes y pruebas se consigue el diseño más adecuado para la captura de las señales ECG.

Posteriormente, se implementó un ciclo de procesamiento digital de los registros. Una vez escogidos los componentes, se programa el DSP (Freescale, 2006), diseñando y programando los filtros y *software* en MATLAB. También se configuran los módulos del conversor análogo digital y de la comunicación serial del 56F807EVM (Motorola, 2005b).

Tanto la programación como las distintas simulaciones y pruebas requieren estar en un constante proce-

so de la reevaluación con el fin de optimizar el prototipo final como se muestra en la Figura 1.

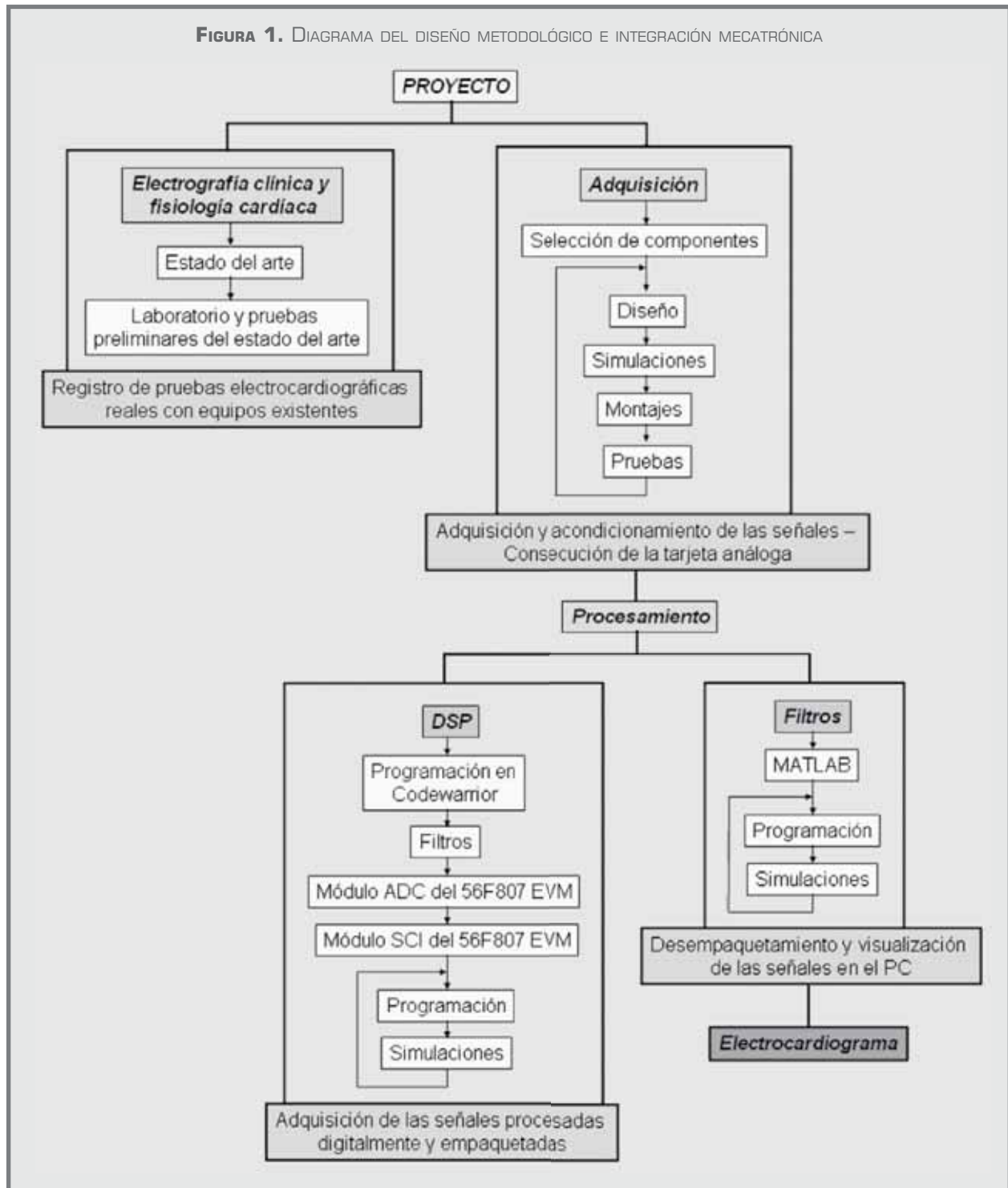
Las distintas etapas mencionadas durante el proceso de diseño metodológico e integración mecatrónica tienen ítems específicos durante los cuales se desarrollan distintas tareas concretas que se arraigan a la finalización de cada uno de los tres ciclos requeridos para obtener el equipo de registro de señales electrocardiográficas: adquisición de las derivaciones análogamente, obtención de los registros digitales y, finalmente, la visualización de un electrocardiograma, como se muestra en la Figura 2.

Para concretar la etapa de adquisición de las derivaciones análogas, previamente se conecta al paciente, con el fin de acondicionar las señales ECG. Para ello se preamplifican los registros, seguidamente se utiliza un filtro pasa altas y se vuelven a amplificar para finalizar con la ejecución de un filtro pasa bajas; a su vez, un circuito manejador de pierna derecha es diseñado como punto de referencia y realimentación; es así como se concreta la fase de acondicionamiento de los registros y se acoplan a los rangos de voltaje del conversor análogo – digital del módulo de evaluación.

El procesamiento digital de los registros se realiza implementando el módulo de evaluación 56F807 de Motorola, programado con compilador *codewarrior*. El primer módulo implementado de esta tarjeta es el del conversor A/D, donde se muestrean las derivaciones, luego se implementa un filtro FIR pasabajas diseñado con MATLAB, se empaquetan los datos y, finalmente, se programa el módulo SCI correspondiente a la comunicación serial, utilizado para el envío de datos al PC.

Una vez los datos han sido enviados al PC por medio del puerto serial, son recibidos y desempaquetados. Para su visualización se diseñó una interfaz gráfica con un módulo de apoyo diagnóstico, la cual permite evaluar detalladamente cada uno de los registros.

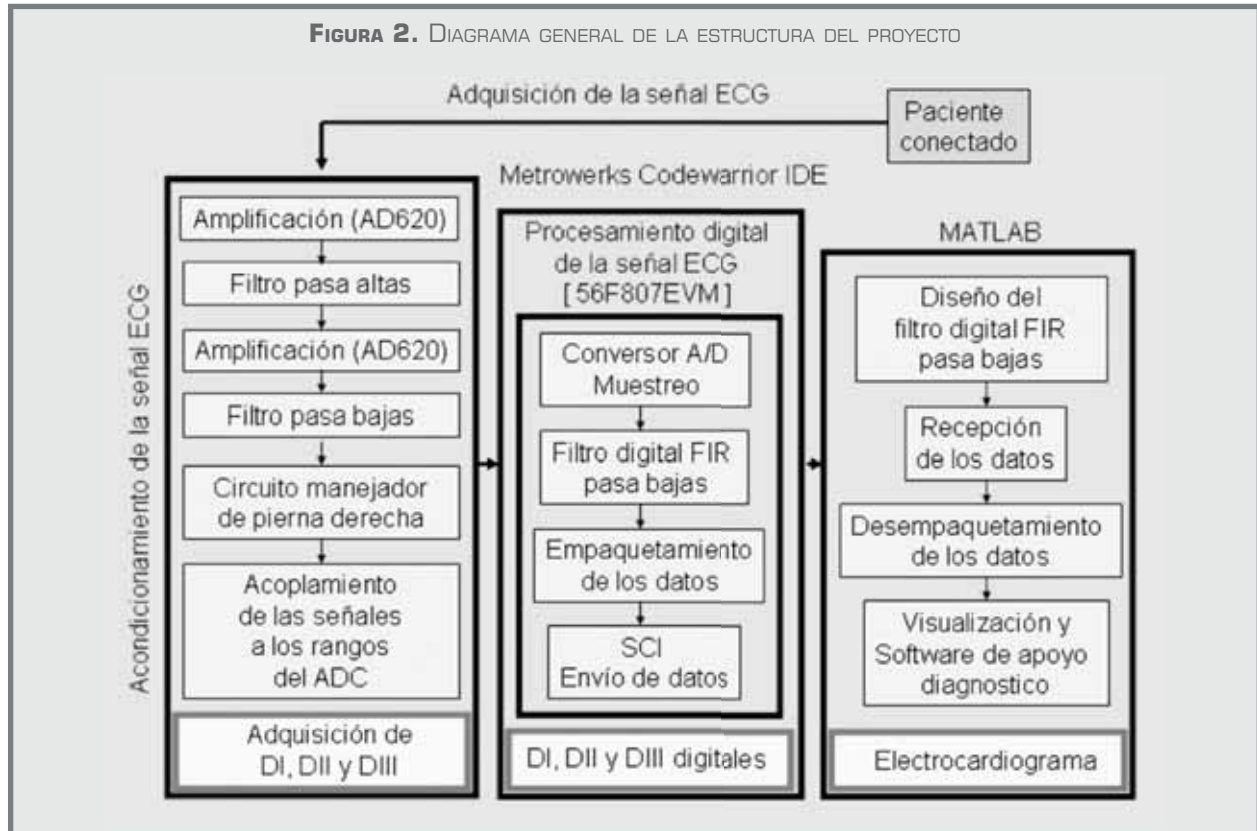
**FIGURA 1.** DIAGRAMA DEL DISEÑO METODOLÓGICO E INTEGRACIÓN MECATRÓNICA



## ADQUISICIÓN

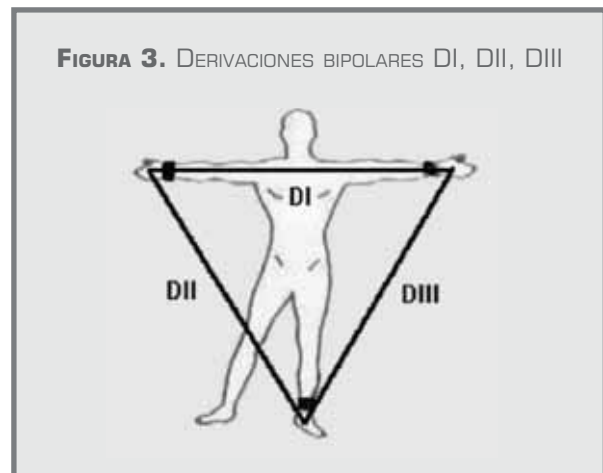
Partiendo de la revisión teórica (Ganong, 2001) se deben tener en cuenta las derivaciones bipolares (Figura 2), entre las cuales se tienen:

- Derivación DI: mide la corriente en el eje entre  $0^\circ$  - $180^\circ$ , va a tener su electrodo negativo en el miembro superior (MMSS) derecho y el positivo en el MMSS izquierdo.



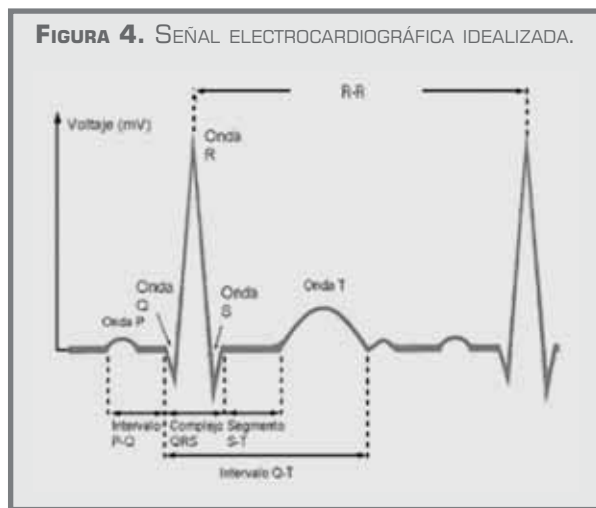
- Derivación DII: mide la corriente en el eje que va entre  $60^\circ$  - $120^\circ$ . Su electrodo negativo va a estar en el MMSS derecho y el positivo en el miembro inferior (MMII) izquierdo.
- Derivación DIII: mide la corriente que va por el eje entre  $120^\circ$  - $60^\circ$ . Tiene el electrodo negativo en el MMSS izquierdo y el positivo en el MMII izquierdo.

La señal electrocardiográfica (Vesga, 1998) que se debe obtener y visualizar se observa en la Figura 3.



## ACONDICIONAMIENTO

La señal se adquiere a partir de una conexión al paciente a través de electrodos, la cual se debe acoplar al acondicionamiento de la señal ECG (Coughlin, 1999) que cuenta con un preamplificador, filtro *Butterworth* pasa altas, amplificación, filtro *Butterworth* pasa bajas, circuito manejador de pierna derecha y un acoplamiento de la señal a los rangos del conversor análogo digital (Figura 4).



La etapa de acondicionamiento de la señal electrocardiográfica corresponde a la primera parte del sistema total. Durante esta fase se realiza la adquisición de la señal cardíaca que proviene de los cuatro electrodos conectados al paciente.

El sistema de acondicionamiento consta de seis etapas mostradas en la Figura 4, seguida de una etapa de acoplamiento de la señal electrocardiográfica a los rangos del ADC del módulo de evaluación: una primera etapa de preamplificación, una segunda etapa en la que se diseña e implementa un filtro pasa altos de segundo orden, seguidamente una etapa de amplificación y, finalmente, un filtro pasabajas.

Con el fin de dar una retroalimentación para disminuir el voltaje de modo común y aterrizar las señales

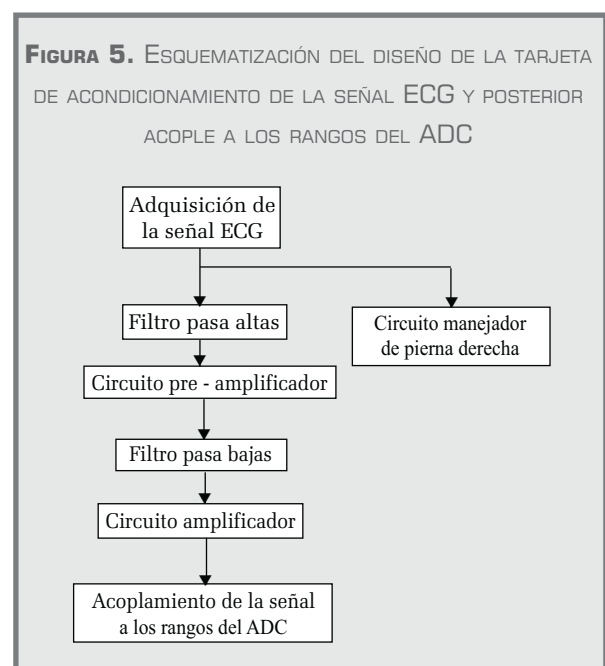
recogidas por el blindaje del cable creando una tierra virtual se implementa un circuito manejador de pierna derecha.

Las tres señales obtenidas durante esta fase corresponden a las derivaciones del plano frontal, el cual es el que atraviesa el corazón en paralelo con el plano sobre el cual se apoya el dorso del paciente al encontrarse en posición de decúbito.

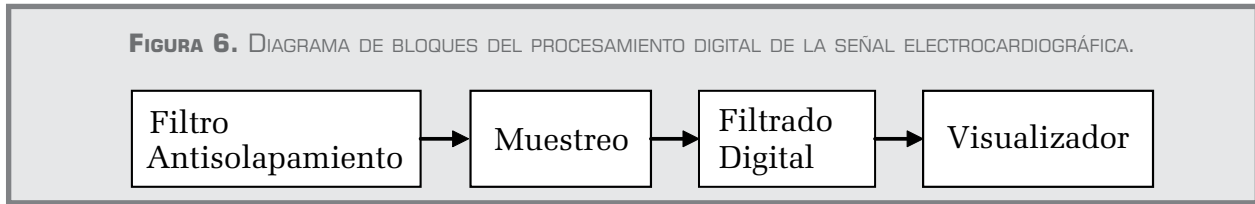
Estas se adquieren desde distintos puntos del cuerpo mediante electrodos conectados tanto a los dos brazos del paciente como a las dos piernas y son conocidas como DI, DII y DIII.

## DSP56F087

El procesamiento digital de la señal electrocardiográfica debe pasar por un filtro de antisolapamiento, el muestreo y el filtrado digital (Motorola, 2003a), para posteriormente ir a la etapa de visualización (Figuras 5 y 6).



**FIGURA 6.** DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESAMIENTO DIGITAL DE LA SEÑAL ELECTROCARDIOGRÁFICA.



Cuando se tiene una señal continua en el tiempo, puede existir solapamiento de frecuencias; por lo tanto, se debe implementar un filtro analógico pasa bajas, con el fin de limitar el ancho de banda de la señal bajo tratamiento. Esto es recomendado hacerlo antes de utilizar un conversor A/D.

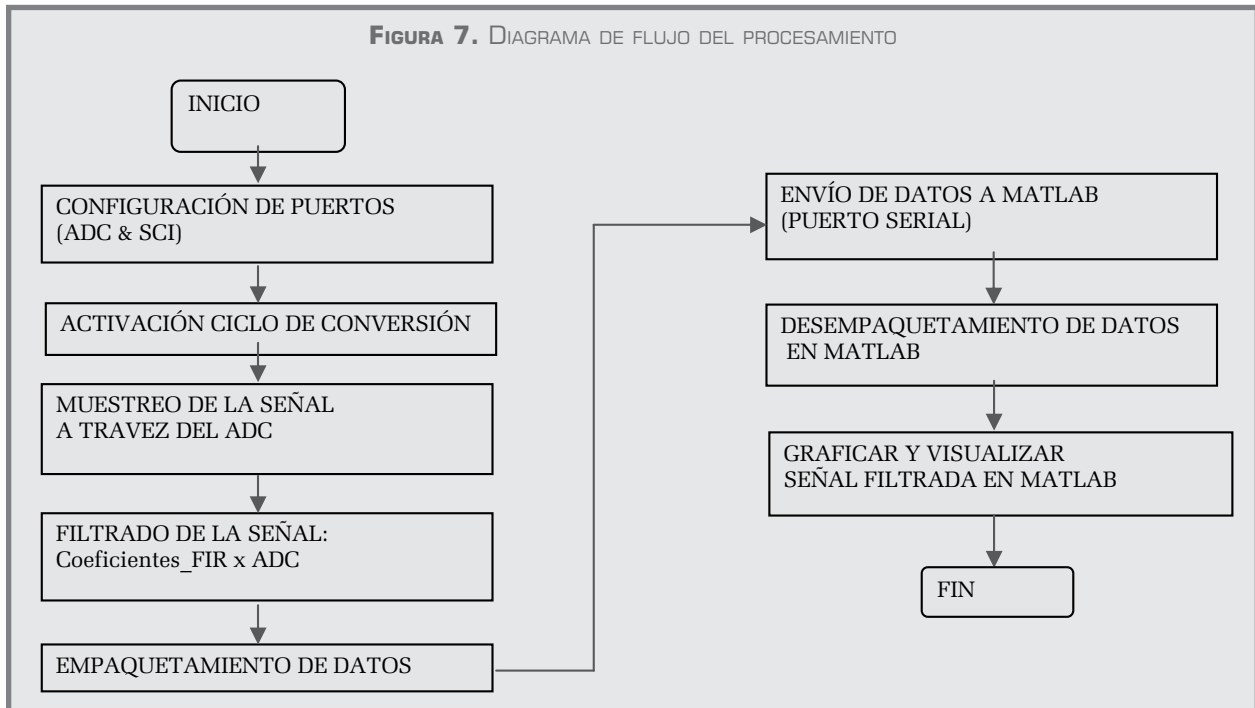
El criterio de Nyquist  $f_m > 2 \cdot f_{max}$ , por lo tanto para señales electrocardiográficas se recomienda trabajar con una frecuencia de muestreo que este en el rango de 250Hz y 500Hz y a una resolución de 12 bits. La señal se adquiere por medio del conversor análogo

digital del DSP 56F807, a una frecuencia de muestreo de 500Hz.

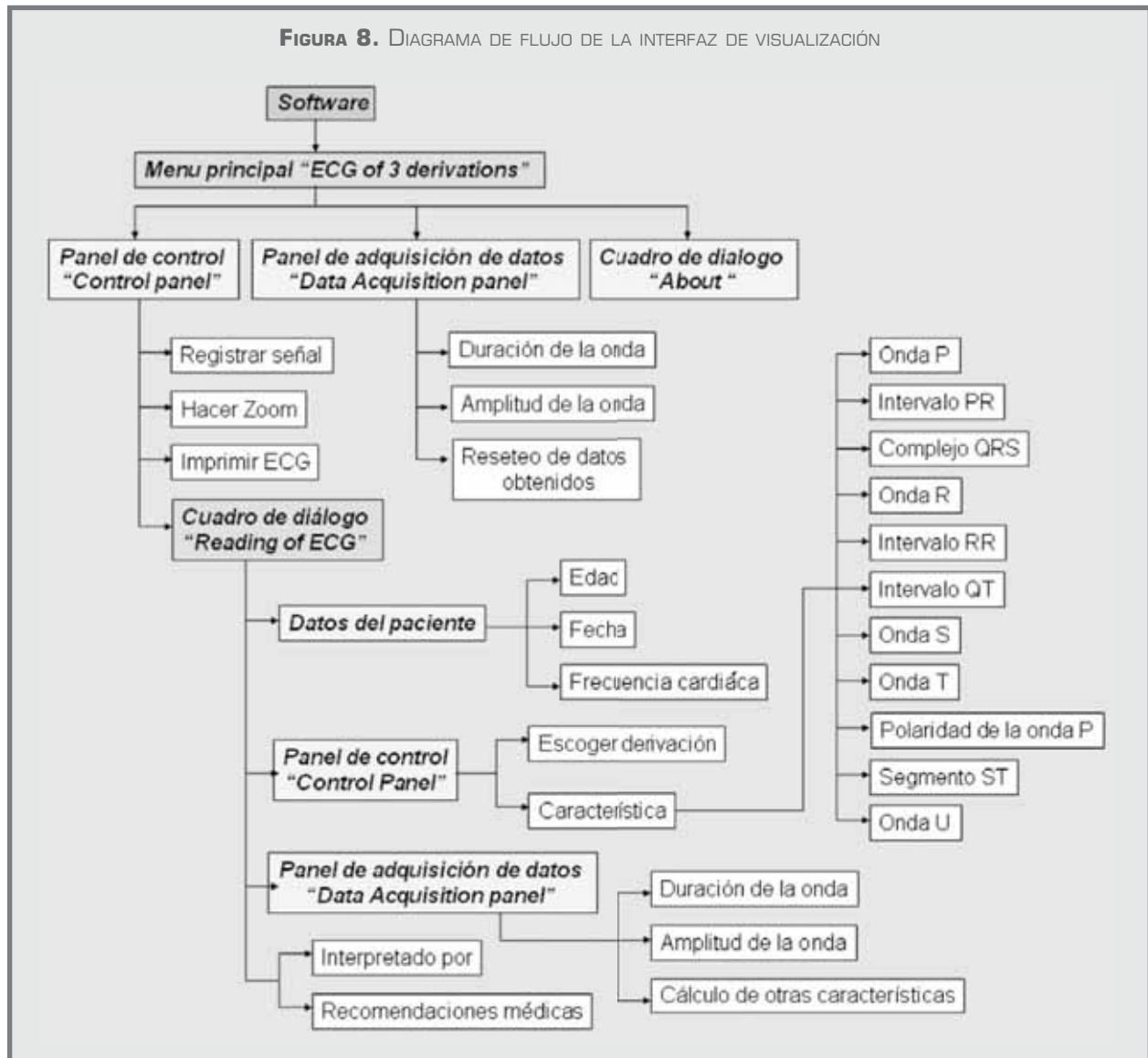
Se implementó un filtro FIR pasa bajas, ya que estos filtros tienen una respuesta de fase lineal, son siempre estables y en la implementación pueden aprovechar las ventajas de la FFT.

Para diseñar el filtro se utilizó la herramienta de MATLAB *fdatool* al cual se le asignó al valor *N* el orden de 5, frecuencia de muestreo igual a 500Hz y como frecuencia de corte  $W_n = 100\text{Hz}$ .

**FIGURA 7.** DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESAMIENTO

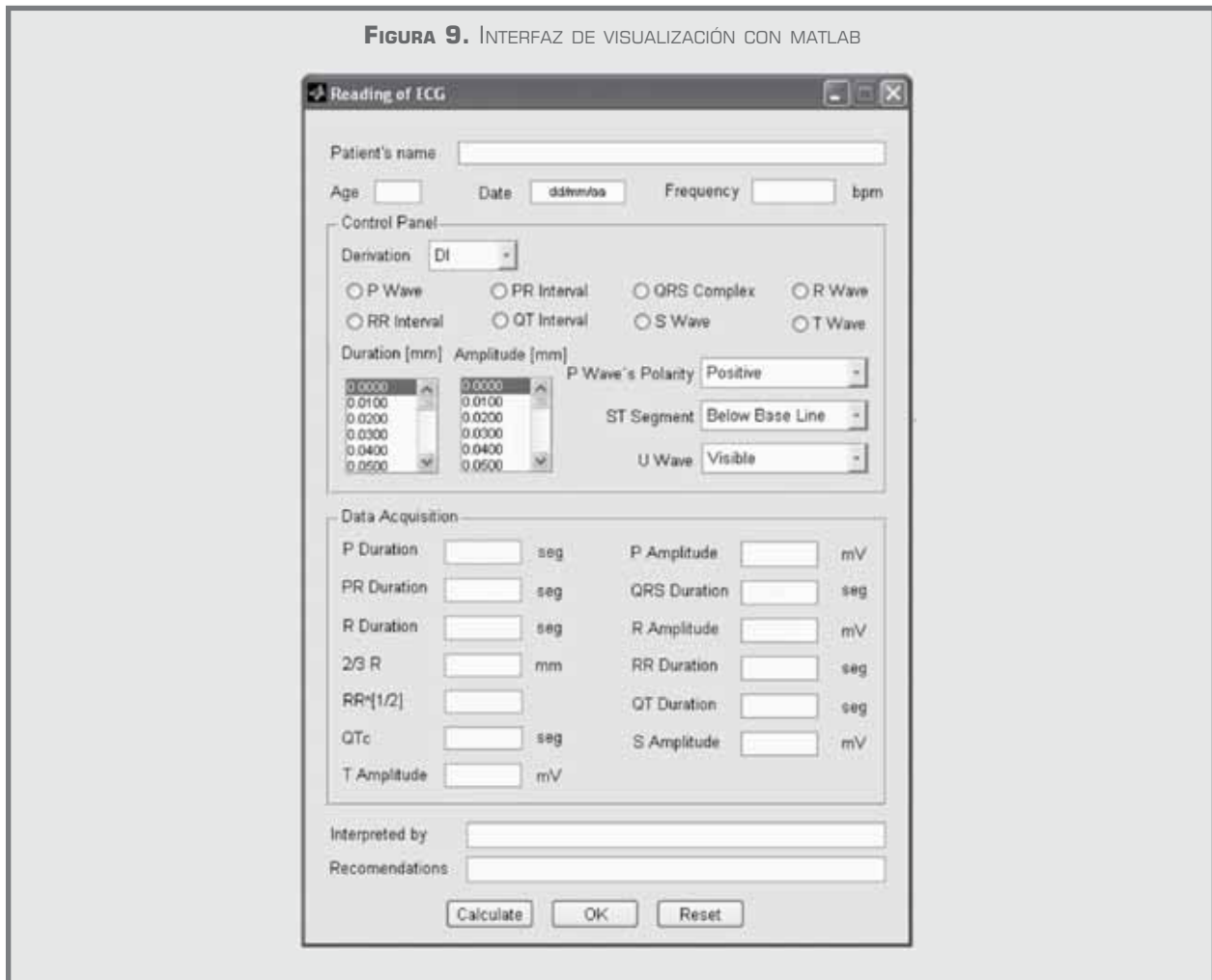


**FIGURA 8.** DIAGRAMA DE FLUJO DE LA INTERFAZ DE VISUALIZACIÓN

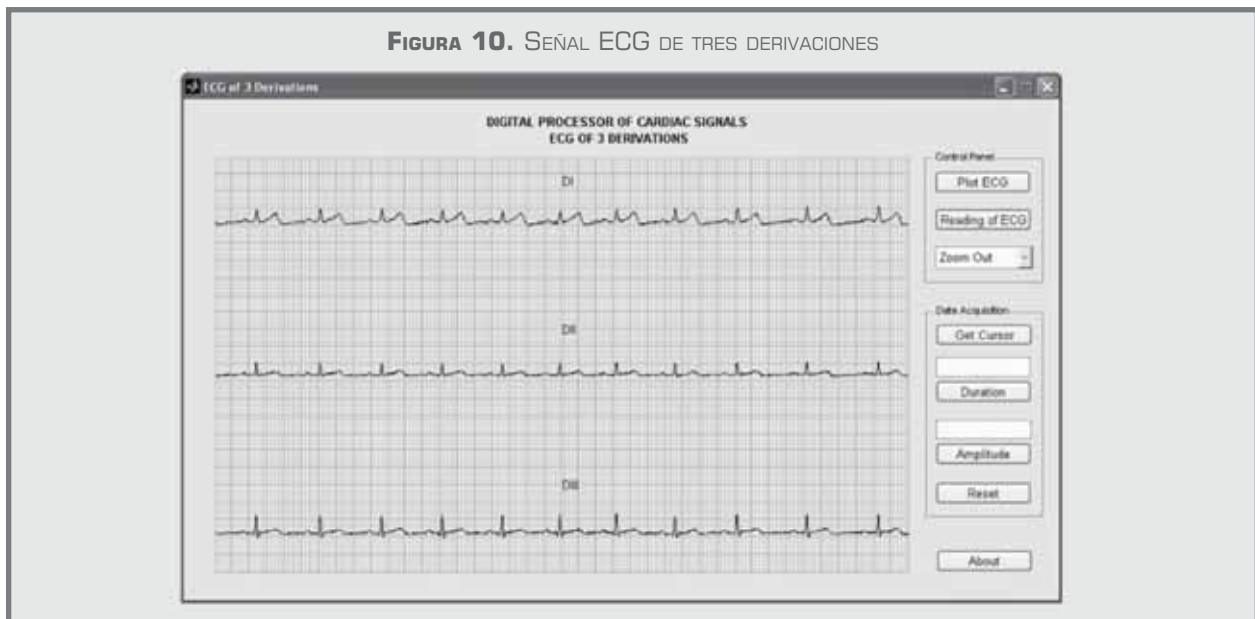




**FIGURA 9.** INTERFAZ DE VISUALIZACIÓN CON MATLAB



**FIGURA 10.** SEÑAL ECG DE TRES DERIVACIONES



## MATLAB

La Velocidad de Transmisión es igual a 115200 baudios y el empaquetamiento de datos se hacen en CODEWARRIOR mientras el Desempaquetamiento de datos se hace en MATLAB.

Para poder ver en el computador cada una de las tres derivaciones adquiridas y procesadas a través de los procesos descritos en este documento se desarrolló un programa especialmente diseñado según las exigencias que un ingeniero o médico investigador requiera.

Este programa posee una herramienta de apoyo diagnóstico que incluso puede ser implementada sin necesidad de conectar el módulo de evaluación al PC. Fue diseñado en MATLAB 7.

## CONCLUSIONES

Se desarrolló una herramienta didáctica utilizando una interfaz desarrollada en MATLAB como apoyo en el análisis de señales electrocardiográficas, que permiten visualizar las derivaciones D1, D2 y D3.

El DSP56F807 es un dispositivo optimizado para realizar cálculos e implementar algoritmos de procesamiento de señal, permitiendo desarrollar aplicaciones como el filtrado digital de señales electrocardiográficas, además permite cambiar o mejorar los códigos que se implementan en ellos sin necesidad de adicionar más *hardware*.

Los simuladores de señales ECG utilizan frecuencias de muestreo de 300 Hz a 366 Hz y entregan una buena resolución de la señal. Aunque en este proyecto se utilizó una frecuencia de muestreo de 500 Hz este valor no está considerado dentro de la electrocardiografía de alta resolución ya que allí se utilizan frecuencias de muestreo de 1000 Hz en adelante, lo cual implica una etapa más en el procesamiento digital de la señal electrocardiográfica llamada diez-mado. Por tal razón, en este proyecto no se trabajó con electrocardiografía de alta resolución, sino con electrocardiografía normal.

Utilizar amplificadores de instrumentación con rangos de ganancia muy altos aplicados a señales electrocardiográficas no se justifica, debido a que los altos valores de amplificación se reflejan en la saturación de los registros. De igual forma se requieren ganancias relativamente bajas en comparación con el potencial de estos chips, ya que los convertidores análogo-digitales, tienen límites establecidos bajo los cuales se deben trabajar los registros adquiridos.

A diferencia de otros equipos convencionales el producto final permite realizar el proceso de diagnóstico con mayor precisión que si se realizara manualmente; el programa desarrollado posee herramientas detalladamente diseñadas, desde la intensidad de la grilla, hasta los elementos de medición y cálculo con el fin de que los resultados sean obtenidos y tabulados en menores tiempos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cardiólogos en línea (2006) disponible en <http://www.cardiologos.org/electro/general.html>. Guía tutor de electrocardiograma.
- Cárdenas L. y Montezuma L. "Sistema de Registro de Señales Eléctricas para apoyo Diagnóstico de Patologías Cardíacas Basado en Electrocardiografía y DSP". Trabajo de Grado. Facultad de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Autónoma de Bucaramanga UNAB, 2006.
- Carr, J. y Brown, J. *Introducing to biomedical equipment*. (3 ed.). New Jersey: Prentice Hall, 1998.
- Coughlin, R. *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*. (3 ed.). México: Prentice Hall, 1999.
- Freescale (2006) disponible en <http://www.freescale.com/>. Fabricante DSPs.
- Ganong, W. *Fisiología médica*. México: s.e., 2001
- González, J. Trabajo de investigación de la maestría en ingenierías área ing. Electrónica, Procesamiento digital de señal electrocardiográfica con tecnología DSP orientado al análisis de variabilidad de la frecuencia cardíaca. Universidad Industrial de Santander. Escuela de ingenierías eléctrica electrónica y telecomunicaciones. Facultad de ingenierías físico-mecánicas, 2003.
- Metrowerks (2006) disponible en <http://www.metrowerks.com/>.
- Motorola. [Motorola,DSP56F807EVMUM,2003] *Freescale Semiconductor, 56F807 Evaluation Module "hardware" User's Manual. Technical Documentation*, DSP56F807EVMUM (PDF) Application Notes, DSP56F807EVMUM, 02, 2003b.
- Motorola. DSP56800 Family Manual, Motorola digital dna, DSP56F800 16-Bit Digital Signal Processor (PDF), DSP56F800FM/D, 03, 2003a.
- Motorola.DSP56F800 User Manual, Freescale semiconductor, DSP56F800 User Manual, 56800 Documentation (PDF), DSP56F8001-7UM, 06, 2005a.
- Motorola. DSP56F807, Freescale Semiconductor, 56F807 16 bit Hybrid Processor. Preliminary Technical Data, Data Sheet DSP56F807, DSP56F807, 14, 2005b.
- Motorola DSP56F807] Freescale Semiconductor, 56F807 Digital Signal Controllers, DSP56F807FLASHFS, 2, 2005c.
- Proakis, J. Manolakis y D. Tratamiento Digital de Señales. España: Prentice Hall, 1998.
- Texas Herat Institute. disponible en [http://www.tmc.edu/thi/arrhy\\_sp.html](http://www.tmc.edu/thi/arrhy_sp.html). St. Luke's Episcopal Hospital website, 2006.
- Vesga, Á. "Tema Práctico Fundamento de Cardiología". *Revista MedUNAB* 1.1 (1998): 61- 67.