



## ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

### “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MONITOR ELECTROCARDIOGRÁFICO USANDO LA TECNOLOGÍA DE LOS MICRO-CONTROLADORES”

Kerly Estefanía Corella Merizalde<sup>(1)</sup> Bosco David Mendoza Solórzano<sup>(2)</sup> Ing. Miguel Yapur Auad<sup>(3)</sup>  
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador  
kerecore@espol.edu.ec<sup>(1)</sup> bdms1986@hotmail.com<sup>(2)</sup>  
myapur@fiec.edu.ec<sup>(3)</sup>

#### Resumen

*La electrocardiografía es un método para el diagnóstico de enfermedades cardiovasculares. La ciencia médica actual cuenta con equipos de diagnóstico, indispensables para poder ayudar a las personas que los requieran, pero la realidad es que estos equipos, tales como los electrocardiógrafos, son costosos para las labores propias del médico clínico. Por ello se desarrolló este proyecto que consiste en el diseño y construcción de un monitor electrocardiográfico, que utilizando un PIC de gama media (PIC16F887) y la herramienta de programación gráfica LabVIEW, se encarga de procesar y visualizar las señales cardiacas obtenidas. Con esto se logra construir un monitor de bajo costo y fácil manejo.*

#### Abstract

*Electrocardiography is a method for the diagnosis of cardiovascular diseases. Current medical science uses diagnostic equipment to help people in need; but the reality is that this kind of equipment, such as electrocardiographs, is expensive to own at work of the clinician. In this way, this project involves the design and construction of an electrocardiographic monitor, using a mid-range PIC (PIC16F887) and LabVIEW graphical programming tool, responsible for processing and displaying heart rate signals obtained. This design achieves a low cost monitor with easy handling.*

## Introducción

Este proyecto tiene como propósito diseñar y construir un monitor de electrocardiografía (EKG), basado en la tecnología de los micro-controladores. El monitor de EKG mostrará las señales cardiacas producto de tres derivaciones sobre el plano frontal, denominadas: DI, DII, DIII.

En la sección uno se explican las especificaciones generales del electrocardiógrafo (EKG); además, se detalla y muestra como el corazón y sus partes interactúan para generar la señal electrocardiográfica.

La adquisición de la señal electrocardiográfica se basa en cinco etapas importantes como son: Aislamiento, pre-amplificación, filtrado, amplificación y compensación del offset, que son descritos respectivamente en la sección dos. En la sección tres se detalla el procesamiento digital de la señal, usando el micro-controlador PIC16F887 y la interfaz gráfica LabVIEW. La construcción del electrocardiógrafo (EKG) se explica en el acápite cuatro, y el funcionamiento del equipo, obtención de resultados, pruebas y el análisis respectivo se detallan en el punto cinco.

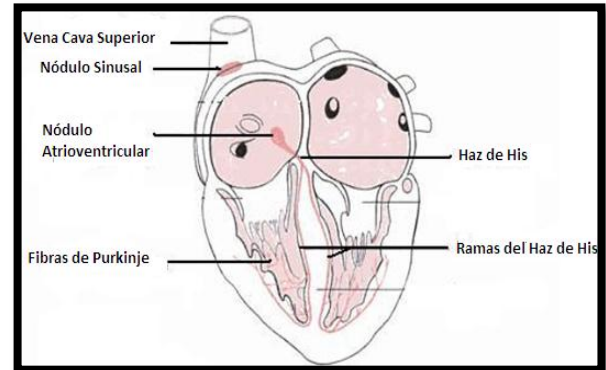
## 1 Especificaciones generales del electrocardiógrafo

### 1.1 El corazón y su funcionamiento bioeléctrico

El corazón es un órgano hueco que, gracias a sus contracciones, actúa como motor del aparato circulatorio, bombeando la sangre desde el interior de sus cavidades hacia todo el organismo; la frecuencia cardiaca es la medida de las contracciones por minuto, que el corazón realiza para impulsar la sangre, a través del sistema circulatorio, generando 70 u 80 [bpm] (latidos por minuto), pero en personas que siguen entrenamientos de resistencias puede descender a niveles inferiores. Los componentes de conducción eléctrica, que se muestran en la figura 1 son:

- Nódulo Sino-Atrial o Nódulo Sinusal
- Nódulo Atrio-Ventricular
- Fascículo Atrio-Ventricular (Haz de His)
- Fibras de Purkinje

(Ver figura 1.1).

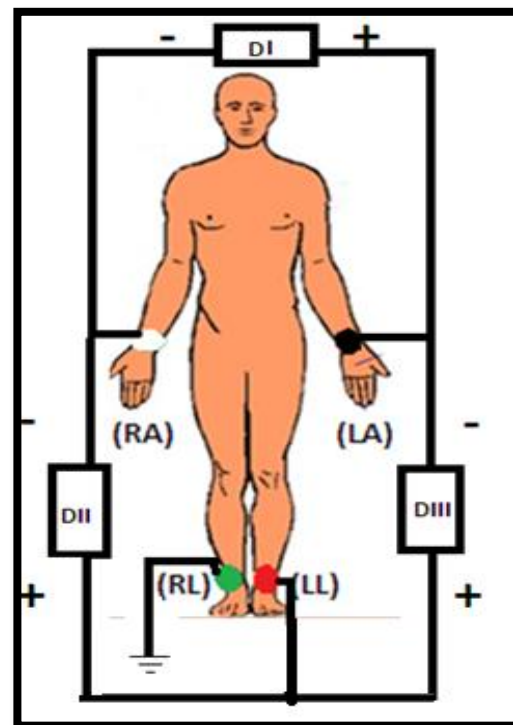


**FIGURA 1.** El corazón y sus partes.

(tomado de: Marriott's Practical Electrocardiography  
Escrito por: Galen S. Wagner)

### 1.2 Derivaciones bipolares

Las derivaciones bipolares, se basan principalmente en registrar potenciales eléctricos en el plano frontal; los electrodos se colocan en el brazo izquierdo (LA), brazo derecho (RA), la pierna izquierda (LL), y la pierna derecha (RL), la cual se toma como referencia. (Ver figura 2).



**FIGURA 2.** Derivaciones Bipolares.

## 2 Adquisición de la señal

### 2.1 Fuentes de alimentación

Considerando la seguridad, fue necesario alimentar a todos los circuitos que se encuentran antes del seguidor de voltaje con una fuente aislada; de esta forma se le da al paciente un aislamiento con respecto a los circuitos de salida.

### 2.2 Aislamiento de la señal

Es importante y necesario colocar una etapa de aislamiento en este sistema de adquisición, para poder proteger al paciente de cualquier corriente de fuga que pudiera originarse. Usando el amplificador operacional AD822 y configurado como seguidor de voltaje, se obtuvo aislamiento eléctrico-físico entre la fuente de la señal y los equipos energizados.

### 2.3 Filtros

Los filtros son circuitos diseñados para seleccionar señales que se encuentran en cierta banda de frecuencias, por lo tanto se encargan de rechazar todas las señales fuera de la banda de interés.

### 2.4 Filtro pasa-bajos

Se caracteriza por dejar pasar señales que estén debajo de la frecuencia de corte ( $\omega_c$ ). (Ver figura 3).

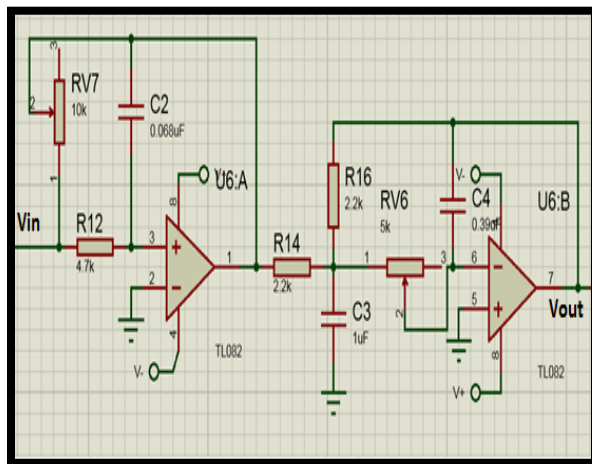


FIGURA 3. Filtro pasa-bajos.

### 2.5 Filtro pasa-altos

Se diseñó y se implementó un filtro pasa-altos de segundo orden que sólo permita pasar frecuencias mayores a 0.5Hz. (Ver figura 4).

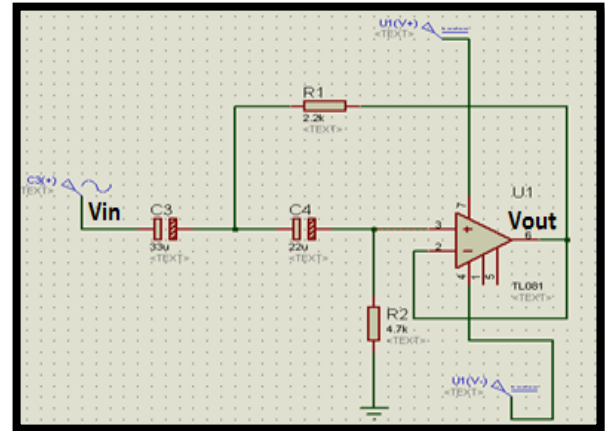


FIGURA 4. Filtro pasa-altos.

### 2.6 Filtro notch

Se diseñó y se implementó un filtro que rechace la señal de 60Hz (ver figura 5), vale recalcar que dicho sistema posee dos filtros notch en cascada, haciéndolo más selectivo en esta banda.

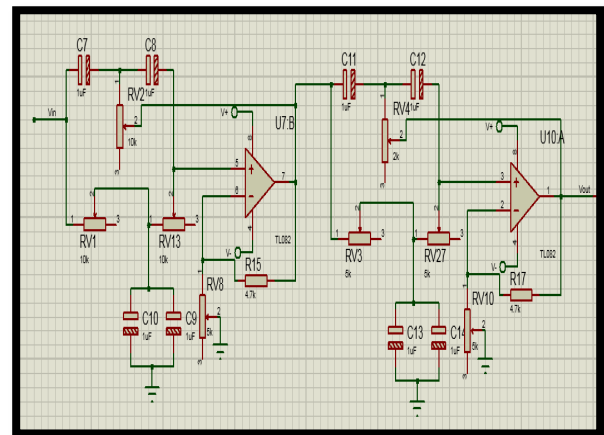


FIGURA 5. Filtro notch.

### 2.7 Amplificador no inversor

Después de eliminar todo el ruido presente en la señal usando los diferentes filtros, se lleva la señal a niveles de voltajes permitidos por el microcontrolador para

poder digitalizarla; para esto es necesario un amplificador de mayor ganancia y así asegurar que la señal esté dentro del rango que admite el módulo analógico/digital incluido en el PIC 16F887. (Ver figura 6).

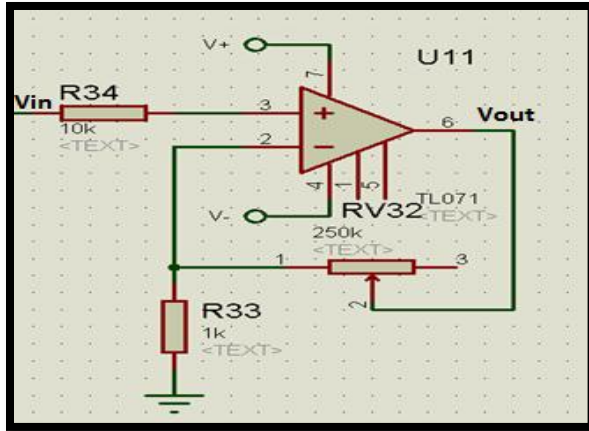


FIGURA 6. Amplificador no inversor.

## 2.8 Etapa de compensación del offset

Una vez filtrada la señal, y amplificada, es indispensable ajustarla en el rango de amplitud máxima y mínima de voltaje; para esto se diseñó e implementó un sumador DC no inversor (ver figura 7) que lleva la señal al rango permitido.

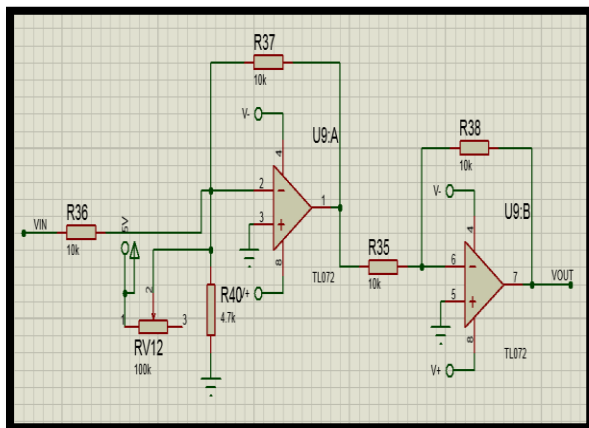


FIGURA 7. Sumador no inversor.

## 3 Procesamiento digital de la señal

### 3.1 El microcontrolador

El microcontrolador es un sistema que contiene un microprocesador, memorias y elementos periféricos,

todo encapsulado en un solo chip. Los microcontroladores son muy importantes en el desarrollo de la Electrónica y la Automatización, ya que han facilitado la introducción de procesadores digitales en numerosos productos industriales.

Para este proyecto se escogió el PIC 16F887. Este chip tiene 35 pines de entrada y salida, una memoria ROM de 8K con tecnología flash que es donde se almacena el programa; también posee una memoria RAM de 368 bytes, un convertidor analógico/digital de 10 bits, temporizadores, un módulo de comparación, un módulo PWM, un puerto serie síncrono maestro y el módulo USART mejorado, que se utiliza para comunicación serial RS-485, RS-232 y LIN2.0

### 3.3 Comunicación serial usando el PIC 16F887 y MAX 232

Los resultados de la conversión son almacenados en los registros ADRESL y ADRESH; inmediatamente estos datos son enviados al computador por medio de la comunicación serial, con el fin de asegurar la obtención de los datos en tiempo real.

### 3.4 El programa en LabVIEW

Se utilizó LabVIEW para desarrollar un programa que adquiera datos y los grafique o muestre en pantalla en tiempo real. Este programa lee datos enviados por el microcontrolador (PIC 16F887) a través de un puerto serial, los procesa y grafica mostrando la forma de la señal analógica adquirida (señal electrocardiográfica), lo cual se muestra a través de una sencilla interfaz gráfica, implementada en LabVIEW.

## 4 Construcción del electrocardiógrafo

### 4.1 Construcción del circuito EKG

El circuito del EKG se construyó sobre una PCB de 14.5x8 [cm]. Esta placa posee varias borneras a las cuales se conectan dispositivos instalados en las caras laterales de la caja. Entre éstas, 4 entradas que son para borneras tipo banana a las cuales se conectan los electrodos, entradas de voltaje DC que son para

energizar el circuito, salidas (J4 y J5) para conectar el puerto serial DB-9 y las borneras (J1, J2 y J3) para conectar el selector giratorio que tiene 14 pines en total. (Ver Figura 8).

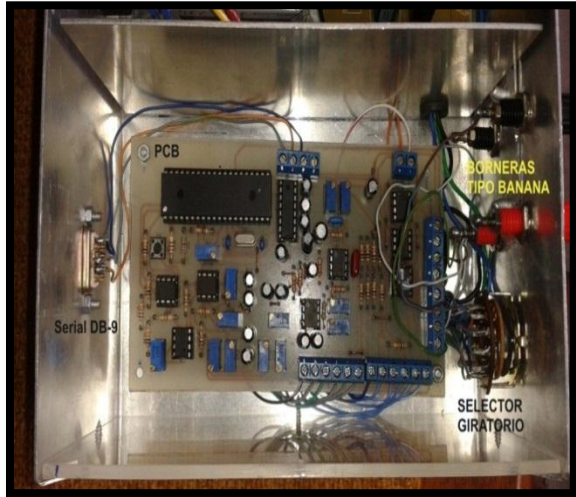
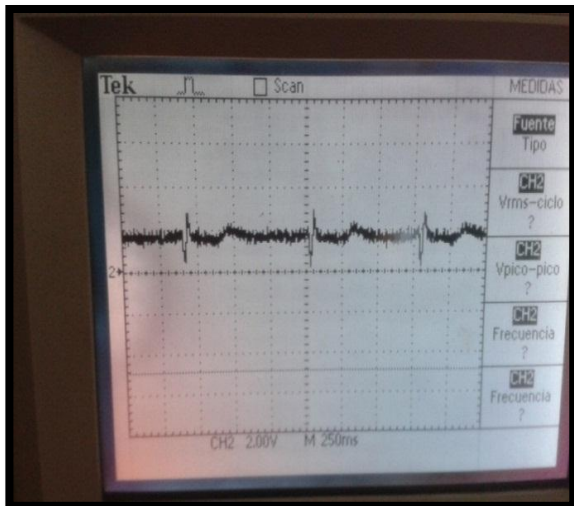


FIGURA 8. Vista superior del circuito EKG

## 5 Funcionamiento del equipo

### 5.1 Pruebas analógicas

Usando el osciloscopio Tektronic TDS 210 se obtienen las pruebas analógicas de las derivaciones



DI, DII, DIII.

FIGURA 5.1 Prueba analógica DI.

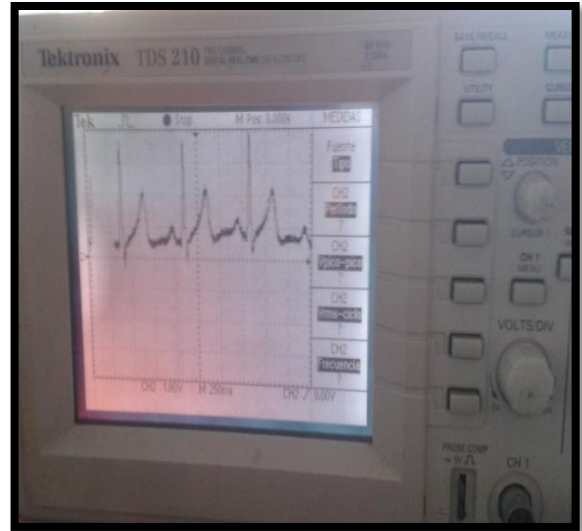


FIGURA 5.2 Prueba analógica DII.

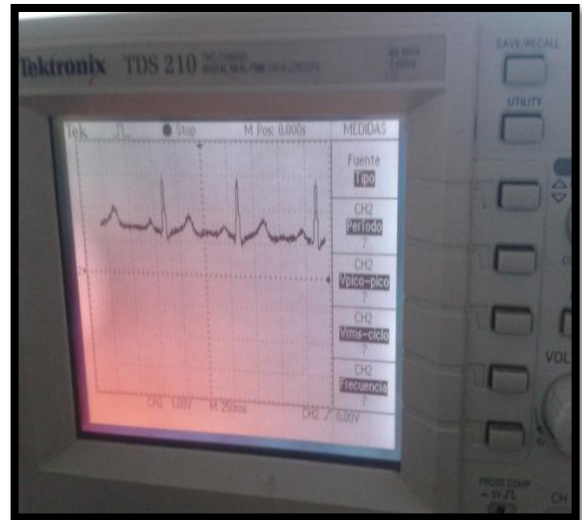


FIGURA 5.3 Prueba analógica DIII.

### 5.2 Pruebas digitales

Usando LabVIEW se muestran las imágenes digitales. A continuación se aprecian las figuras de las siguientes derivaciones: DI, DII, DIII.

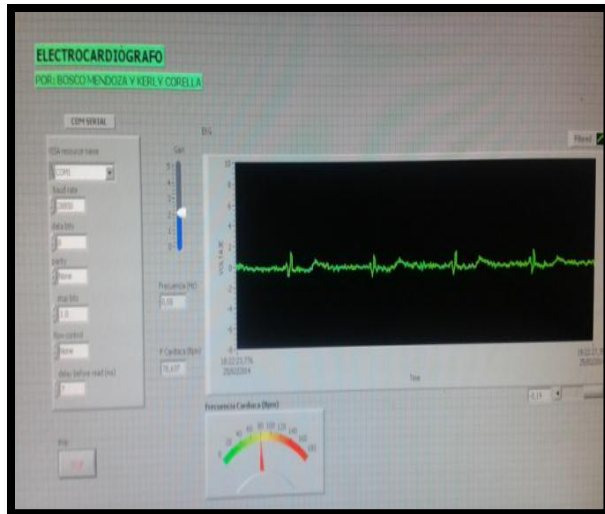


FIGURA 5.6 Prueba digital DI.



FIGURA 5.4 Prueba digital DII.



FIGURA 5.5 Prueba digital DIII.

## 6 Conclusiones

Se diseñó e implementó un sistema EKG capaz de mostrar las señales bioeléctricas emitidas por el corazón, a través de un monitor usando LabVIEW; este sistema es de bajo costo y funciona correctamente.

Como en la actualidad las computadoras no poseen puertos seriales, fue necesario adaptar un convertidor USB – SERIAL para trabajar sobre la misma interfaz y no tener problemas de compatibilidad.

En lo que respecta a problemas con la digitalización, es necesario analizar cada etapa del EKG y verificar cuál es el nivel DC que hay que aumentar, con el fin de diseñar un elevador DC y no tener problemas con las diferentes derivaciones que se mostrarán, y mucho menos, poner en peligro al microcontrolador con valores muy elevados de voltaje: positivos o negativos.

## 7 Recomendaciones

Para un correcto funcionamiento del EKG, la superficie donde se ubican los electrodos, debe estar lo suficientemente limpia; así mismo, para evitar interferencia por los poros capilares, es necesario usar el gel, y que este sólo cubra el área deseada, ya que un exceso provocaría que el electrodo no se fije bien, y por ende no poder obtener las lecturas deseadas.

Cada vez que se va a usar el electrocardiógrafo es necesario fijar todos los parámetros que se configuran en LabVIEW para la transmisión serial.

Para una mejor lectura, el paciente debe estar en completo estado de reposo. Así mismo, debe estar ubicado en un lugar donde las interferencias electromagnéticas no intervengan o por lo menos sean mínimas.

Es recomendable energizar los amplificadores operacionales utilizados con +5[V] y -5[V], para limitar voltajes mayores a +5[V], de modo que el microcontrolador no se vea afectado.

## 8 Referencias

- [1] Cheryl Passanisi, RN, SN, Electrocardiography essentials
- [2] Galen S. Wagner, Marriott's practical electrocardiography
- [3] William J. Brady and John Camm, ABC of clinical electrocardiography
- [4] Antoni Bayés de Luna, Clinical electrocardiography
- [5] Douglas Martin MSN RN, the Complete study guide to learning electrocardiogram
- [6] George E Burch, M.D, History of Electrocardiography
- [7] Kathryn M. Lewis, Sensible analysis of the 12 lead
- [8] Christian W. Hamm, Stephan Willems, El electrocardiograma. Su interpretación practica
- [9] Rómulo F. Baltazar, Basic and Bedside Electrocardiography
- [10] Juan F. Guerrero Martínez, Ing. Biomédica Universidad de Valencia
- [11] Ivan Svancara, Kurt Kalcher, Alain Walcarius, Karel Vytras, Electroanalysis with Carbon Paste Electrodes
- [12] Datasheet AD620
- [13] J.I. Escudero, M. Parada, F. Simón, Universidad de Sevilla España
- [14] [www.mikroe.com/chapters/view/81/](http://www.mikroe.com/chapters/view/81/)
- [15] Labview
- [16] [www.todoelectronica.com](http://www.todoelectronica.com)
- [17] <http://arantxa.ii.uam.es/~gdrivera/robotica/curso0304/p2-doc.html>