

## Electrocardiógrafo digital con filtrado no lineal de la señal ECG

Gustavo A. Acosta, Máximo A. Murillo, Byron H. Tapias, Henry Ávila

Grupo de Investigación en Simulación y Modelamiento Computacional (GISMC), Línea de Investigación en Sistemas Automáticos de Control. Universidad de San Buenaventura Seccional Medellín. Carrera 56C Nro. 51 90 PBX (+574) 511 36 00 Ext. 145 Fax: (+574) 513 82 94 www.usb-med.edu.co Medellín - Colombia. Email: gacosta@usb-med.edu.co

La versión extensa de este artículo puede ser solicitada a sus autores.

### Resumen

*En este artículo se presenta un análisis de la señal electrocardiográfica (ECG) utilizando un equipo de bioinstrumentación electrónico y un aplicativo de software diseñado y construido por integrantes del Grupo de Investigación en Simulación y Modelamiento Computacional, GISMC de la Universidad de San Buenaventura seccional Medellín. Se ha podido comprobar que es factible construir dispositivos electrónicos con una buena relación costo beneficio capaces de emular dispositivos más costosos que en la actualidad importan las instituciones prestadoras de servicios de salud. Se logró filtrar la señal ECG usando filtros digitales no lineales, estos están siendo empleados en los equipos electrónicos de última generación usados en el monitoreo y registro de señales biológicas.*

**Palabras Clave:** Señal Electrocardiográfica, Registro Electrocardiográfico, Transductor, Filtros Digitales No Lineales, Filtros Análogos, Acondicionamiento de bioseñales, Cardiopatías, Bioinstrumentación.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el siglo XVIII Luigi Galvani, profesor de anatomía de la Universidad de Bolonia, lanzó la hipótesis de que la contracción muscular se debía a una corriente bioeléctrica. De este modo se definió una ley de la fisiología, la cual dice que "en los músculos, toda desintegración molecular, sea por lesión o por función va acompañada de un estado de negatividad que se transmite por toda la fibra"[1], ley que aplica a los fenómenos fisiológicos asociados al corazón. A partir de lo anterior se han desarrollado métodos para para el registro de las señales eléctricas generadas por la actividad cardiaca y que se monitorean en la

piel a nivel superficial mediante el uso de electrodos de diferentes tipos. Se reconoce como pionero en este campo de la investigación científica al Dr. Augustus D. Sëller (S. XIX).

El registro electrocardiográfico constituye una herramienta clínica de ayuda diagnóstica para determinar el estado de salud del músculo cardiaco. A partir de una serie de registros gráficos es posible determinar la actividad eléctrica del mismo y verificar el estado de salud del paciente. Los registros eléctricos obtenidos constituyen un modelo vectorial del funcionamiento del sistema cardiaco.

**Tecnología**

**II. SEÑALES ELECTROCARDIOGRÁFICAS**

La señal electrocardiográfica o señal E.C.G. corresponde a una representación gráfica del proceso de despolarización o repolarización ventrículo/auricular.

Las señales que se obtienen en un registro electrocardiográfico son:

*A. Derivaciones*

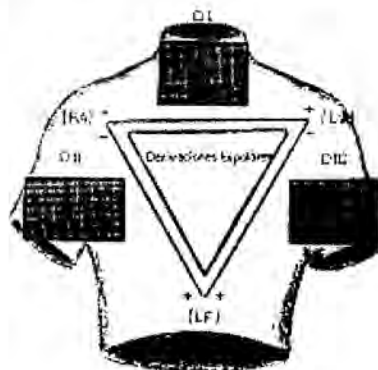


Figura 1. Derivaciones Bipolares [6]

Derivada uno, derivada dos y derivada tres (DI, DII y DIII) llamadas también señales bipolares.

*B. Señales Amplificadas*

Vector amplificado derecho, vector amplificado izquierdo y vector amplificado pierna (aVR, aVL, aVF), conocidas también como unipolares.

*C. Señales Precordiales o Vectoriales*

Señal precordial uno, dos, tres, cuatro, cinco y seis (V1, V2, V3, V4, V5 y V6). En la siguiente figura se muestra la ubicación de los electrodos para la obtención de estas señales.

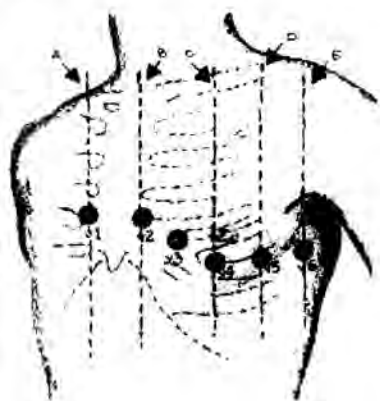


Figura 2. Ubicación de los Electrodo Precordiales [6]

Un estudio electrocardiográfico completo consta de doce registros diferentes. Cada registro permite “ver” la actividad eléctrica del corazón desde diferentes puntos de vista de acuerdo a la ubicación de los electrodos.

Normalmente un diagnóstico preliminar se hace con base en la señal DII, al igual que las demás señales, se identifican en ésta algunos puntos claves que se denotan con las letras P, Q, R, S, T, U (Figura 3). El tramo de la señal ECG conocido como “complejo QRS” constituye una parte de la señal ECG muy usada por el personal médico en la diagnosis de enfermedades cardiacas.

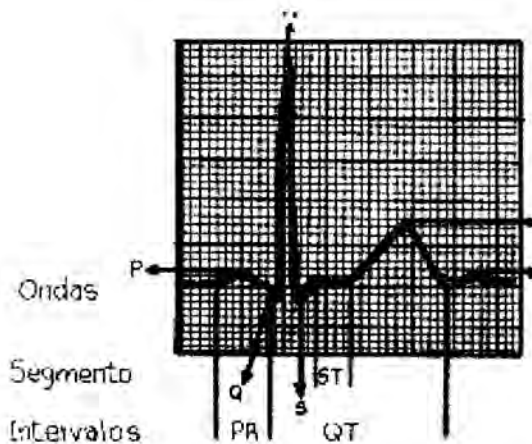


Figura 3. Onda Cardíaca correspondiente a la señal DII [6]

**III. SEÑAL ELECTROCARDIOGRÁFICA**

La señal cardíaca como onda eléctrica tiene una amplitud del orden de los milivoltios mV, por lo general se encuentra entre 0.5 mV y 2 mV, la distancia horizontal entre los segmentos PQ, QRS, ST y TU (Figura 3) se interpreta como el tiempo, es del orden de las fracciones de segundo y depende de la rata cardíaca del corazón. La rata por minuto se calcula de acuerdo con el tiempo que tarda la onda en repetirse.

Toda actividad muscular que realiza el cuerpo humano, voluntaria o involuntaria es el resultado de una reacción electro-química. Si una corriente eléctrica recorre un tejido muscular, éste se contrae debido al flujo de electrones que lo recorre. Así mismo, las reacciones bioquímicas de tipo metabólico donde intervienen el sodio y el potasio, generan señales eléctricas, como por ejemplo la señal

electrocardiográfica, referida a la actividad eléctrica del músculo cardíaco al contraerse y al relajarse; ésta actividad genera voltajes del orden de los milivoltios que son capturadas y registradas por un equipo de diagnóstico clínico conocido como electrocardiógrafo. Otras señales bioeléctricas son las producidas por el cerebro, que genera señales alfa y beta, ondas cortas y largas con amplitudes de señal del orden de los microvoltios; las señales electromiográficas, que generan registros gráficos de la actividad muscular, presentan valores de amplitud también del orden de los microvoltios; otro caso corresponde al sentido de la vista, los colores (diferentes componentes de frecuencia en la señal de luz que podemos percibir) y sus tonalidades pasan a través del ojo, la información generada en el nervio óptico es llevada al cerebro en forma de señales eléctricas.

Todas estas señales eléctricas producidas por la actividad corporal pueden ser registradas por equipos especializados de uso clínico en el diagnóstico médico.

Los registros electrocardiográficos constituyen un estudio clínico de carácter obligatorio a la hora de realizar un diagnóstico del estado y funcionamiento del músculo cardíaco. Es necesario disponer de un registro visual de la actividad eléctrica del corazón ya sea en un monitor o en papel con características especiales, que permite la medida de la amplitud de la señal en milivoltios y de la rata cardíaca por minuto.

Para el registro estándar de una electrocardiografía, es necesario el uso de diez electrodos colocados en la superficie de la piel del paciente (método no invasivo) en puntos predeterminados, generalmente en la zona del tórax, con lo cual es posible registrar hasta doce señales cardíacas, llamadas derivaciones. Estas representan la actividad cardíaca en forma vectorial y revelan la condición y funcionamiento del músculo cardíaco. El examen diagnóstico lo lleva a cabo personal médico cualificado a partir de la interpretación y el análisis de los registros eléctricos obtenidos.

Cada latido se "reconoce" en los diferentes registros electrocardiográficos que se pueden obtener de un paciente y corresponde a una etapa o condición determinada en el funcionamiento del músculo cardíaco. Cada señal en el monitor representa un diagnóstico clínico que se obtiene del análisis e interpretación de la parte de la señal conocida como complejo QRS (figura 3). Dicho registro se puede

dividir en tres partes principales. La primera parte es una pequeña onda en forma de "U" invertida, llamada P que representa la contracción de las aurículas. La segunda parte es un trazo en punta que representa la contracción ventricular, complejo QRS. La tercera parte, en forma de montículo, representa la relajación de los ventrículos, y se conoce como segmento T. El análisis y correcta interpretación del registro ECG le permite al médico determinar los problemas asociados al músculo cardíaco.

En todo procedimiento clínico donde es necesario tomar señales de corriente eléctrica generadas por el organismo: electroencefalograma (EEG), electromiograma (EMG), electrocardiograma (ECG) etc. o generadas por estímulos externos: ecografía, ecocardiografía, desfibrilación etc. la resistencia eléctrica de la piel del paciente, debido a la poca condición eléctrica conductiva de ésta por la sequedad, hace necesario el uso de agentes químicos (gel) para reducir la resistencia eléctrica y permitir la conductividad en la superficie de la piel del paciente.

El uso del gel es fundamental dado que la piel humana presenta altos niveles de resistencia al paso de la corriente eléctrica. Esto permite disminuir la pérdida de señales bioeléctricas y su aplicación mejora la transmisión de pequeñas corrientes eléctricas para todos los procedimientos clínicos que en general se relacionan con la captura de bioseñales a nivel superficial.

#### **IV. FUNCIONAMIENTO DE UN EQUIPO ELECTROCARDIOGRÁFICO ESTÁNDAR**

El funcionamiento del electrocardiógrafo, como equipo de diagnóstico clínico, se basa en la instalación de una serie de electrodos en la superficie de la piel del paciente al nivel de la región torácica. Estos electrodos permiten capturar la señal electrocardiográfica generada por la actividad del músculo cardíaco del paciente; varias etapas de acondicionamiento y amplificación analógica de la señal permiten obtener una señal con los niveles adecuados de amplificación que permitan implementar algoritmos adicionales de tratamiento análogo o digital de la señal ECG. Los equipos más modernos de bioinstrumentación "digitalizan" la señal ECG e implementan algoritmos avanzados de procesamiento digital de señales (DSP) como: filtrado no lineal, filtrado adaptativo y transformaciones lineales y no lineales

## Tecnología

(p. ej. FFT). Con estos algoritmos se busca extraer y depurar la información contenida en la señal ECG con el fin de facilitar el diagnóstico de enfermedades cardiacas.

El registro estándar de un electrocardiograma requiere el uso de diez electrodos colocados en la superficie de la piel del paciente (modo no invasivo); en total se realizan doce lecturas cardiacas; cuatro electrodos se colocan en la dirección de las extremidades superiores e inferiores, en la zona del tórax, dos a los costados del esternón a izquierda y derecha, a la altura del cuarto espacio intercostal, los cuatro electrodos restantes se distribuyen entre el cuarto y quinto espacio intercostal.

Los equipos electrocardiográficos usualmente poseen una pantalla de cristal líquido o un monitor de vídeo para el despliegue y visualización de la señal ECG, adicionalmente se suele imprimir el registro en papel milimetrado, cada centímetro en el eje "X" representa el tiempo con el cual se calcula la "frecuencia" del corazón. Cada centímetro en el eje "Y" representa la amplitud de la señal cardiaca en milivoltios (mV) por centímetro. Cada registro clínico incluye datos básicos del paciente como nombre, numero de historia, edad, sexo, peso, talla y un espacio adicional para comentarios clínicos.

El equipo construido permite realizar hasta diez lecturas electrocardiográficas, estas son: DI, DII, DIII, aVR, aVL, aVF y los vectores V1, V2, V3, V4.

Los latiguillos de conexión entre los electrodos y el equipo se rotulan y se codifican por colores. Los colores más ampliamente usados son:

RA Brazo derecho	Blanco
LA Brazo izquierdo	Negro
RL Pierna derecha	Verde
LL Pierna izquierda	Rojo

Los electrodos de los vectores V1 a V6 se codifican en color café. En este proyecto sólo se detectará desde V1 a V4.

El electrocardiograma es el registro continuo de los impulsos eléctricos del corazón, los cuales son generados por un pequeño grupo de células conocidas como nodo sinusal. Este nodo se encuentra localizado en la parte superior de la aurícula derecha en la

desembocadura de la vena cava superior, este grupo de células constituyen el principal marcapasos del corazón debido a la capacidad de producir un gran número de despolarizaciones o activaciones celulares por minuto, entre 60-90 latidos/min.

La transmisión del impulso eléctrico a través de la masa muscular del corazón o células miocárdicas y sus efectos de activación y recuperación en los que la forma de la masa muscular cambia, es lo que da lugar a las diferentes ondas que aparecen en los registros electrocardiográficos. Se define entonces el registro electrocardiográfico como una técnica no invasiva destinada a registrar, en función del tiempo, las corrientes eléctricas de acción generadas por el músculo cardiaco y que al manifestarse en forma de ondas dan al médico información que él interpretará según los parámetros establecidos por la ciencia médica.

## V. FISIOLÓGÍA DEL CORAZÓN

El corazón es un órgano muscular muy potente, hueco en su interior y aproximadamente del tamaño de un puño. Está situado en el pecho detrás del esternón ladeado un poco hacia la izquierda. Pesa alrededor de 300 gramos. El corazón es una bomba muscular doble que impulsa la sangre por todo el organismo; la mitad derecha recibe sangre sin oxígeno, y la bombea a los pulmones, el lado izquierdo recibe sangre oxigenada de los pulmones y la bombea por la aorta, se contrae unas setenta veces por minuto, late mas de cien mil veces al día, durante todos los días de una vida.

El corazón realiza sus funciones en etapas sucesivas: primero se llenan de sangre las cámaras superiores o aurículas, luego se contraen, se abren las válvulas y la sangre irrumpe en las cavidades inferiores o ventrículos derecho e izquierdo. La sangre contenida en el ventrículo derecho es impulsada hacia los pulmones por las arterias pulmonares, mientras que la sangre del ventrículo izquierdo es impulsada con fuerza hacia todo el organismo por la arteria aorta.

## VI. DETECCIÓN DE LAS SEÑALES ECG EN EL CUERPO

La señal ECG captada por los electrodos se lleva, por medio de latiguillos conductores, al equipo electrocardiográfico. En éste se implementan varias

## Tecnología

(p. ej. FFT). Con estos algoritmos se busca extraer y depurar la información contenida en la señal ECG con el fin de facilitar el diagnóstico de enfermedades cardíacas.

El registro estándar de un electrocardiograma requiere el uso de diez electrodos colocados en la superficie de la piel del paciente (modo no invasivo); en total se realizan doce lecturas cardíacas; cuatro electrodos se colocan en la dirección de las extremidades superiores e inferiores, en la zona del tórax, dos a los costados del esternón a izquierda y derecha, a la altura del cuarto espacio intercostal, los cuatro electrodos restantes se distribuyen entre el cuarto y quinto espacio intercostal.

Los equipos electrocardiográficos usualmente poseen una pantalla de cristal líquido o un monitor de vídeo para el despliegue y visualización de la señal ECG, adicionalmente se suele imprimir el registro en papel milimetrado, cada centímetro en el eje "X" representa el tiempo con el cual se calcula la "frecuencia" del corazón. Cada centímetro en el eje "Y" representa la amplitud de la señal cardíaca en milivoltios (mV) por centímetro. Cada registro clínico incluye datos básicos del paciente como nombre, número de historia, edad, sexo, peso, talla y un espacio adicional para comentarios clínicos.

El equipo construido permite realizar hasta diez lecturas electrocardiográficas, estas son: DI, DII, DIII, aVR, aVL, aVF y los vectores V1, V2, V3, V4.

Los latiguillos de conexión entre los electrodos y el equipo se rotulan y se codifican por colores. Los colores más ampliamente usados son:

RA Brazo derecho	Blanco
LA Brazo izquierdo	Negro
RL Pierna derecha	Verde
LL Pierna izquierda	Rojo

Los electrodos de los vectores V1 a V6 se codifican en color café. En este proyecto sólo se detectará desde V1 a V4.

El electrocardiograma es el registro continuo de los impulsos eléctricos del corazón, los cuales son generados por un pequeño grupo de células conocidas como nodo sinusal. Este nodo se encuentra localizado en la parte superior de la aurícula derecha en la

desembocadura de la vena cava superior, este grupo de células constituyen el principal marcapasos del corazón debido a la capacidad de producir un gran número de despolarizaciones o activaciones celulares por minuto, entre 60-90 latidos/min.

La transmisión del impulso eléctrico a través de la masa muscular del corazón o células miocárdicas y sus efectos de activación y recuperación en los que la forma de la masa muscular cambia, es lo que da lugar a las diferentes ondas que aparecen en los registros electrocardiográficos. Se define entonces el registro electrocardiográfico como una técnica no invasiva destinada a registrar, en función del tiempo, las corrientes eléctricas de acción generadas por el músculo cardíaco y que al manifestarse en forma de ondas dan al médico información que él interpretará según los parámetros establecidos por la ciencia médica.

## V. FISIOLÓGÍA DEL CORAZÓN

El corazón es un órgano muscular muy potente, hueco en su interior y aproximadamente del tamaño de un puño. Está situado en el pecho detrás del esternón ladeado un poco hacia la izquierda. Pesa alrededor de 300 gramos. El corazón es una bomba muscular doble que impulsa la sangre por todo el organismo; la mitad derecha recibe sangre sin oxígeno, y la bombea a los pulmones, el lado izquierdo recibe sangre oxigenada de los pulmones y la bombea por la aorta, se contrae unas setenta veces por minuto, late mas de cien mil veces al día, durante todos los días de una vida.

El corazón realiza sus funciones en etapas sucesivas: primero se llenan de sangre las cámaras superiores o aurículas, luego se contraen, se abren las válvulas y la sangre irrumpe en las cavidades inferiores o ventrículos derecho e izquierdo. La sangre contenida en el ventrículo derecho es impulsada hacia los pulmones por las arterias pulmonares, mientras que la sangre del ventrículo izquierdo es impulsada con fuerza hacia todo el organismo por la arteria aorta.

## VI. DETECCIÓN DE LAS SEÑALES ECG EN EL CUERPO

La señal ECG captada por los electrodos se lleva, por medio de latiguillos conductores, al equipo electrocardiográfico. En éste se implementan varias

**Tecnología**

Las derivaciones monopolares o amplificadas aVR, aVL y aVF se obtienen conectando las tres extremidades a un punto denominado nodo o red de Wilson que a efectos prácticos se considera que tiene un potencial cero y sirve como electrodo indiferente o de referencia. Esto permite que al colocar el electrodo explorador en la extremidad superior derecha, la extremidad superior izquierda o la extremidad inferior

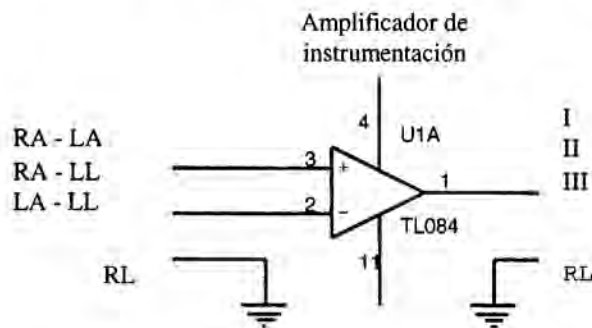


Figura 6. Circuito Amplificador para las señales DI, DII y DIII [6]

izquierda, se puedan registrar los potenciales eléctricos en dicha extremidad. La letra «V» identifica a la derivación monopolar y las letras «R», «L» y «F» a la extremidad respectiva (superior derecha, superior izquierda e inferior izquierda). Si se conecta de la central terminal o red de Wilson, la extremidad en la que estamos realizando el registro, se obtiene un aumento de amplitud en la señal, por este motivo estas derivaciones también se conocen como vectores amplificados.

Los puntos para la detección de las derivaciones monopolares o amplificadas aVR, aVL y aVF se muestran en la siguiente Figura 7.

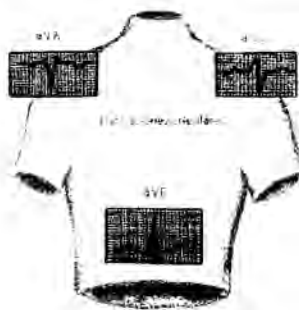


Figura 7. Posición de los Electrodo para Detección las Derivaciones monopolares o Amplificadas: aVR, aVL y aVF [6]

Para la detección de los vectores amplificados se lleva a la entrada no inversora del amplificador operacional uno de los puntos RA, LA ó LL. El punto

RL se lleva como punto de referencia mientras que a la terminal inversora se lleva el nodo circuital conocido como red de Wilson (Figura 8). De esta manera se puede obtener el registro electrocardiográfico del vector seleccionado.

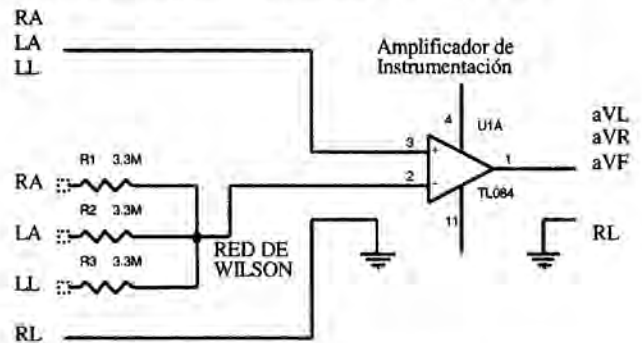


Figura 8. Circuito amplificador para las señales monopulares o amplificadas aVR, aVL y aVF [6]

Por otra parte, con la ubicación de los puntos para la detección de las derivaciones precordiales se suelen cometer muchos errores. Para evitar estos errores y obtener registros válidos se debe localizar por palpación el ángulo de Louis formado por el manubrio esternal y el cuerpo del esternón. El ángulo de Louis constituye un punto de referencia mediante el cual se pueden localizar con precisión los espacios intercostales donde se han de conectar los electrodos, tal y como se aprecia en la tabla 1 y en las figuras 9 y 10.

Tabla 1. Localización de puntos para la detección de derivaciones precordiales.

Ubicación	Punto
Cuarto espacio intercostal derecho	V1
Cuarto espacio intercostal izquierdo	V2
Quinto espacio intercostal izquierdo	V4
Punto medio entre V2 y V4	V3
Línea axilar al nivel de V4	V5
Línea axilar al nivel de V4	V6



Figura 9. Ubicación por palpación de los espacios intercostales tomando como referencia el ángulo de Louis [6]

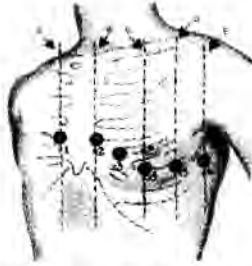


Figura 10. Ubicación de los electrodos para el registro de las derivaciones precordiales [6]

A la entrada no inversora del amplificador operacional de instrumentación se lleva, por medio de latiguillos de conexión, cualquiera de los puntos V1 a V6 correspondientes a los electrodos precordiales. A la entrada inversora se lleva el nodo circuitual conocido como red de Wilson; adicionalmente también se debe conectar al equipo la tierra o punto de referencia RL. En la figura 11 se aprecia el circuito amplificador usado para la detección de los vectores amplificados.

VII. CONMUTACIÓN ELECTRÓNICA

La conmutación electrónica para el registro de las señales ECG se implementó con el circuito integrado IC4028 que permite seleccionar cada una de las diez posibles derivadas que pueden ser visualizadas en el monitor del computador (PC). La selección se hace mediante codificación BCD (Binario Codificado en Decimal) de cuatro bits que el programa de control envía por el puerto paralelo del PC al hardware diseñado para la aplicación. El decodificador BCD (circuito IC4028) recibe secuencialmente cada uno de los código binarios comprendidos entre 0000 y 1001

y con estos activa, también de manera secuencial, cada uno de los relevos de 5VDC de la tarjeta electrónica, esto permite seleccionar o “validar” cada una de las derivadas que constituyen el registro ECG. En la actualidad el equipo construido selecciona y registra hasta diez señales: DI, DII, DIII, aVR, aVL, aVF, V1, V2, V3, V4.

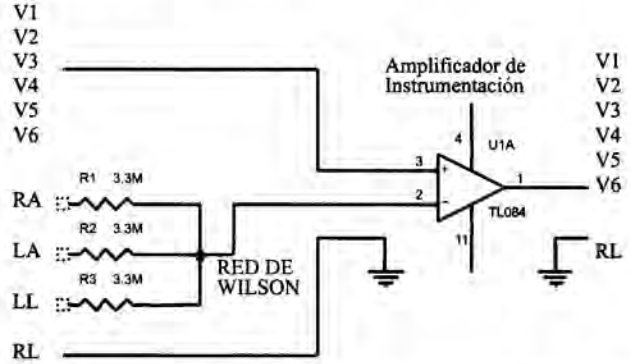


Figura 11. Circuito Amplificador de los Vectores V1,V2,V3,V4,V5 y V6 [6]

El punto cero o punto de referencia para las señales DI, DII y DIII lo constituye el electrodo conectado a la pierna izquierda RL. Este electrodo es referido a la tierra (GND) de la tarjeta mediante un latiguillo de conexión. Para las señales precordiales y vectoriales se diseñó una topología circuitual de tres resistencias iguales (3.3 MΩ) conocida como red de Wilson, los extremos de las resistencias que conforman la red corresponden a los puntos de lectura RA, LA, LL. Los circuitos implementados para la detección de las señales DI, DII, DIII, V1, V2, V3 y V4 se muestran en las Figuras 12 y 13.

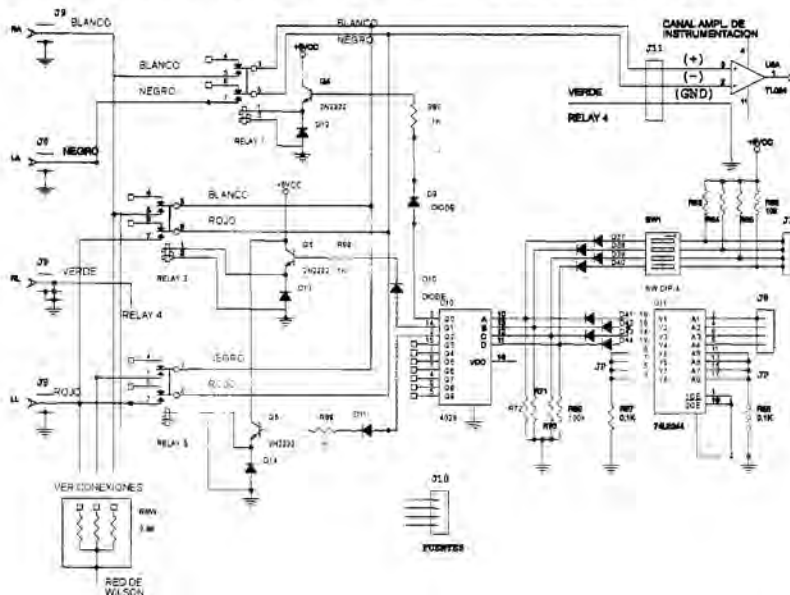


Figura 12. Circuito electrónico de detección para las señales DI, DII y DIII [6]

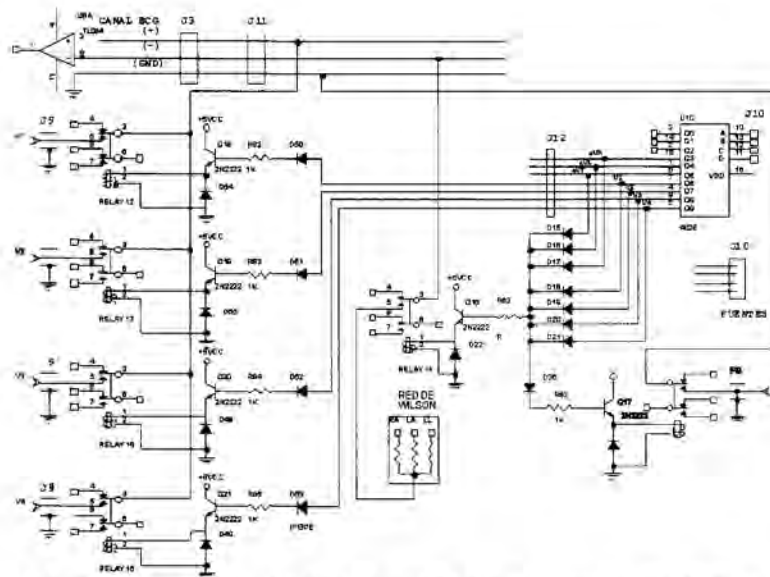


Figura 13. Circuito electrónico de Detección de las señales V1, V2, V3 y V4 [6]

### VIII. ADQUISICIÓN DE DATOS POR PUERTO PARALELO

El hardware de acondicionamiento análogo y digitalización de la señal ECG se conecta al puerto paralelo del PC mediante un conector DB25. Este hardware constituye un sistema de adquisición de datos (SAD) que suministra a la aplicación que corre en el PC los valores digitales correspondientes a la señal ECG. Los datos se entregan al computador en formato de ocho bits y se almacenan y procesan mediante un programa desarrollado en Visual C++ Builder.

La información capturada a través del puerto paralelo del PC corresponde a la señal suministrada por cada uno de los canales ECG disponibles. Los canales se van seleccionando secuencialmente mediante un protocolo de control de cuatro bits que se envía al hardware de adquisición de datos a través del puerto paralelo (cuatro bits menos significativos), tal como se aprecia en Tabla 2.

Tabla 2. Código de Canales

Canal	Código
Derivada I	0000
Derivada II	0001
Derivada III	0010
aVR	0011
aVL	0100
aVF	0101
V1	0110
V2	0111
V3	1000
V4	1001

El programa desarrollado para servir esta aplicación captura los datos que recibe del puerto y los almacena en un archivo de datos para procesarlos posteriormente. Este procesamiento corresponde a un algoritmo de tratamiento digital de señal basado en operadores no lineales.

### IX. PROCESAMIENTO DIGITAL DE LA SEÑAL ECG

La señal ECG es una señal en tiempo continuo cuya fuente es el corazón. Puede ser almacenada y procesada por sistemas electrónicos digitales como el computador si se discretiza y cuantifica (digitalización de señales análogas) previamente, esta labor la lleva a cabo el sistema de adquisición de datos diseñado y construido para esta aplicación.

Toda señal digital es susceptible de ser procesada mediante algoritmos computacionales, esto permite "develar" la información que portan del sistema con el cual se encuentran asociadas.

La señal ECG es una señal aleatoria no estacionaria, sus propiedades estadísticas cambian con el tiempo. No obstante para cortos períodos de tiempo puede ser considerada como una señal aleatoria estacionaria. Adicionalmente, como sus estimadores estadísticos se pueden calcular usando promedios temporales, se dice que la señal ECG es de tipo ergódica. En resumen, para cortos períodos de tiempo, la señal ECG es una señal análoga de tipo aleatoria, estacionaria y ergódica.



El equipo construido lleva a cabo el tratamiento digital de la señal ECG mediante el uso de operadores no lineales que permiten mejorar las características del registro obtenido al remover “ruido” en la señal producido por fuentes externas (fuentes de RF, sistemas y dispositivos electrónicos de regulación de potencia, etc.) e internas (procesos fisiológicos del paciente, estado de ánimo, tics nerviosos, etc.).

## X. FILTRADO NO LINEAL POR CLASIFICACIÓN

El algoritmo usado para el tratamiento digital de la señal ECG es el de la mediana condicional el cual se implementó por software siguiendo los siguientes pasos:

- i Selección de una ventana de datos apropiada.
- ii Clasificación de los datos de mayor a menor.
- iii Cálculo de la mediana para cada ventana de datos.
- iv Si el valor absoluto de la diferencia entre la mediana calculada y el valor de la muestra de entrada es

mayor que un valor de umbral, entonces la muestra de entrada se reemplaza por la mediana, de lo contrario la muestra se almacena como dato de salida.

Este algoritmo evita “daños” innecesarios en la señal y retiene las características propias de la señal ECG. El programa elaborado utiliza una ventana de veintidós datos que se organizan en orden ascendente. Se selecciona el valor mínimo de la serie, y se compara con cada uno de los demás datos, se determina si la diferencia supera el umbral con el fin de decidir si se cambia o no el dato por la mediana.

El programa presenta de manera gráfica los registros ECG. La opción de monitoreo automático presenta los diez registros en una sola ventana, sin embargo es posible registrar cada canal ECG de manera individual mediante botones de selección. Las Figuras 14,15 y 16 muestran diferentes ventanas diseñadas para la aplicación. En particular la Figura 15 muestra en la parte superior la señal ECG sin ser procesada por el filtro no lineal y en la parte inferior el resultado de procesar los datos mediante el algoritmo propuesto.



Figura 14. Pantalla de Operación Manual del ECG [6]

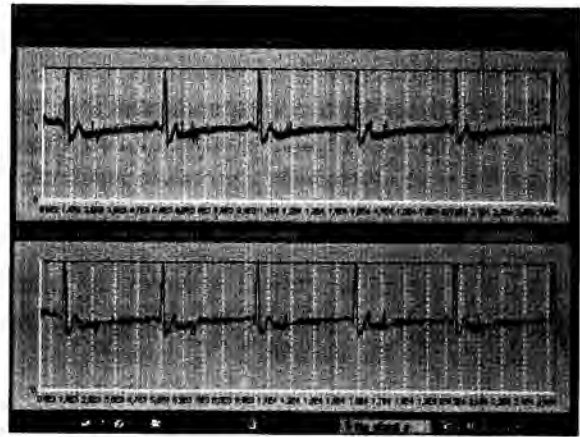


Figura 15. Señal ECG tomada con el Prototipo: Arriba, sin filtro. Abajo, filtrada [6]



Figura 16. Menú de Lectura de Datos en la ventana principal [6]

## Tecnología

### XI. CONCLUSIONES

El procesamiento digital de señales ha experimentado un notable desarrollo en los últimos años y sus algoritmos, técnicas y procedimientos pueden ser aplicados con grandes beneficios en áreas como la bioinstrumentación y el tratamiento de señales biomédicas. Si bien los operadores lineales han sido ampliamente usados en el filtrado digital de bioseñales, la investigación en los últimos años presenta marcadas tendencias hacia el uso de operadores no lineales debido a la "naturaleza" misma de este tipo de señales, que se clasifican como señales aleatorias no estacionarias de tipo ergódico.

Los equipos clínicos de ayuda diagnóstica representan una invaluable herramienta de trabajo para el personal médico que en última instancia son quienes valoran cuantitativa y cualitativamente la información que proporcionan los equipos.

Este trabajo ha permitido comprobar que en el país se pueden diseñar y construir equipos biomédicos de calidad que prestan servicios comparables a los que prestan equipos importados mucho más costosos.

El equipo presenta un gran potencial comercial y constituye una alternativa confiable y económica para instituciones hospitalarias de bajos recursos, así como también para la atención domiciliaria de pacientes con afecciones cardíacas.

### Referencias

- [1] WEBSTER J. G. Medical Instrumentation, Prentice Hall, New York 1989, 691p.
- [2] HAMMING, R. W. Digital Filters, Prentice Hall Signal Processing Series, New Jersey 1989, 284p.
- [3] INMOS, Limited. Digital Signal Processing, Prentice Hall, New York 1989, 266p.
- [4] DEMPSTER, John. Computer Analysis of Electrophysiological Signals, Academic Press, Londres 1993, 228p.
- [5] BARNEY, G. C. Intelligent Instrumentation, Prentice Hall, New York 1988, 467p.
- [6] TAPIAS, B. H. Electrocardiógrafo Virtual, Trabajo Dirigido de Grado. Universidad de San Buenaventura, Medellín 2003.

**Gustavo Alonso Acosta Amaya** (gacosta@usb-med.edu.co) Ingeniero Electricista, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Especialista en Redes Corporativas e Integración de Tecnologías, Universidad de San Buenaventura seccional Medellín. Jefe del Programa de Ingeniería Electrónica y Coordinador del Grupo de Investigación en Robótica Móvil (GIRMO) de la Universidad de San Buenaventura seccional Medellín.

**Máximo Alexis Murillo.** Tecnólogo Electrónico, Instituto Tecnológico Pascual Bravo. Ingeniero Electrónico, Universidad de San Buenaventura seccional Medellín. Jefe de Mantenimiento de Equipos Biomédicos de la Clínica Universitaria de la Universidad Pontificia Bolivariana.

**Byron Hernán Tapias Granda.** Tecnólogo Electrónico, Instituto Tecnológico Pascual Bravo. Ingeniero Electrónico, Universidad de San Buenaventura seccional Medellín. Ingeniero del Área de Mantenimiento de la Compañía Nacional de Chocolates.

**Henry Ávila.** Tecnólogo Electrónico, Instituto Tecnológico Pascual Bravo. Ingeniero Electrónico, Universidad de San Buenaventura seccional Medellín. Jefe del Departamento Eléctrico de Mineros Unidos Ltda.