

ELECTROCARDIOGRAFO DIGITAL

Por: Javier A. Lozano Durán
Julián R. Camargo López
Javier Piñeros Rodríguez

Estudiantes Ingeniería Electrónica
Resumen de Tesis de Grado

La electrocardiografía ha sido una de las herramientas más importantes para el diagnóstico de enfermedades coronarias, mediante la interpretación de la actividad eléctrica del corazón registrada generalmente en un papel. El desarrollo de las tecnologías utilizadas para el campo de la salud es muy importante, pues permitirá cada día obtener mejores y más precisos resultados para el diagnóstico y la terapia de enfermedades. Esto hace, que las probabilidades de detección temprana de afecciones y curación de las mismas sean cada vez más altas, haciendo también que el papel de los médicos no se centre únicamente en el análisis de los resultados sino también en el análisis de los posibles diagnósticos que sean emitidos por los modernos sistemas de diagnóstico.

Con lo anterior puede verse que el desarrollo de equipos médicos cada vez más modernos y completos, es algo que no debe pasar desapercibido y que pide a gritos en nuestro medio la intervención de ingenieros electrónicos para su diseño y adaptación al sector de

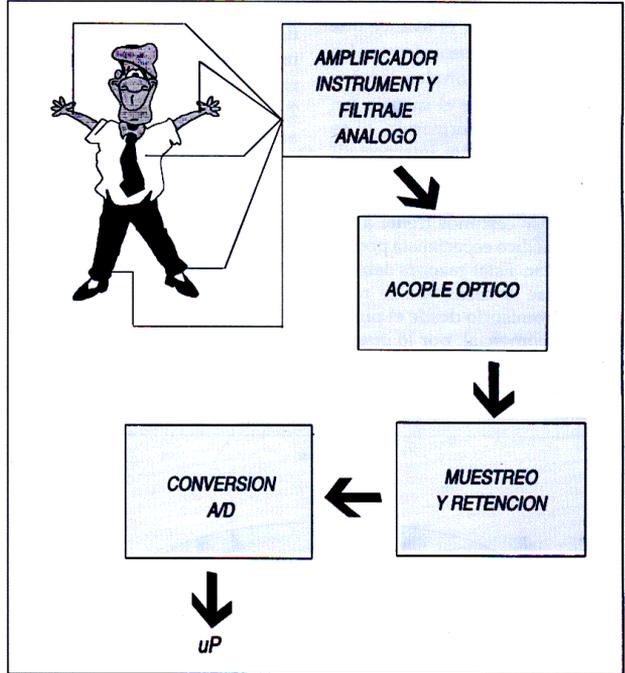


FIGURA 1

la salud en el país. El equipo del cual se hablará, representa de alguna manera este llamado puesto que emplea tecnología actual que aprovecha los grandes avances en los microprocesadores y, en general, en los sistemas de comunicaciones de computadores, haciendo posible la digitalización y obtención de datos para ser utilizados y manipulados a través de un simple computador, lo que lleva a

un gran ahorro en costos y tiempo.

El desarrollo que se ha implementado consiste en un equipo de electrocardiografía que mediante una interfase introduce la información proveniente del corazón a un PC IBM compatible (80486) para ser procesada digitalmente, pues están demostradas las grandes ventajas que esto ofrece para el mane-

jo de la información, una vez ésta se encuentra disponible como señales digitales y en medio magnético.

Este proyecto tuvo gran acogida en el marco de Expociencia 95, por parte de la comunidad médica y de ingeniería, por el avance que este desarrollo presenta frente a los sistemas tradicionales, en los cuales no se tiene el manejo tan eficiente de la información, ni se tienen posibilidades interpretativas que puedan producir automáticamente diagnósticos confiables y muy cercanos frente a los que un médico especialista podría determinar. Estas razones demostraron que el desarrollo es realmente promisorio desde el punto de vista comercial, por lo que algunas empresas han mostrado interés por su introducción en el mercado.

PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES

Desde hace años se ha venido trabajando en la digitalización de señales análogas para procesos de adquisición de información o de control. Como se muestra en la figura 1, los pasos para obtener una señal digitalizada son: 1. Limitar en banda la señal análoga; 2. Tomar muestras (en amplitud) a intervalos iguales de tiempo, con una frecuencia cuanto menos del doble de la frecuencia a la cual fue limitada la señal; 3. Retener en ese valor de amplitud el tiempo suficiente para hacer el proceso de cuantificación; 4. La cuantificación propiamente dicha, que consiste en asignar una combinación binaria a ese valor específico de amplitud utilizando un conversor análogo-digital. (Ver Fig 1)

Una vez se dispone de la señal en forma digital, ésta se puede procesar para obtener un registro gráfico en la pantalla del computador, un archivo en el cual se almacene la información propia de un electrocardiograma, una nueva señal producida por las operaciones entre señales digitalizadas o producto de la utilización de un filtro por software o filtro digital.

En este desarrollo se utiliza filtro digital para implementar un filtro Notch, que es un filtro de ranura para rechazar el ruido de 60 Hz que existe en la señal obtenida del cuerpo humano producido por interferencias de la red de transmisión de energía. Un filtro digital se diseña a partir de la teoría de la transformada Z, que es utilizada para el análisis de señales digitales en dominio frecuencial, obteniéndose una ecuación que relaciona las diferentes muestras que se han tomado. Dependiendo de la velocidad de procesamiento de que se disponga y de la complejidad del filtro a utilizar, se puede hacer funcionar el filtro en tiempo real. Aplicar un filtro en tiempo real significa que cuando entra al sistema una nueva muestra, ésta pasa directamente a las operaciones utilizadas para calcular el valor que se debe usar en la señal ya filtrada, por lo tanto este procedimiento se debe realizar con cada una de las muestras. La otra posibilidad es hacer un muestreo durante un tiempo determinado y luego aplicar el filtro a la serie de números que se habían obtenido.

A modo de ejemplo se muestra la ecuación utilizada para implementar el filtro Notch a 60 Hz:



$$X(n) = \frac{Y(n) + Y(n-T) + Y(n+2T)}{3} \quad (1)$$

donde X representa la señal filtrada, Y la señal digital que entra al filtro y T el período al que se muestrea la señal análoga.

Otra parte importante en el procesamiento digital de las señales que se hizo en este desarrollo, fue la obtención de las tres derivadas aumentadas por software. Normalmente se utiliza en los electrocardiógrafos un sistema de resistencias que se conoce como la red de Wilson, con la cual se hacen operaciones analógicas entre las señales de los electrodos de brazo izquierdo, brazo derecho y pierna izquierda, para obtener las derivadas bipolares I, II y III; las derivadas aumentadas aVR, aVL y aVF; y las seis derivadas precordiales entre cada uno de los seis electrodos determinados y el punto central de Wilson. Las señales aumentadas (aVR, aVL y aVF) guardan una estrecha relación con las bipolares, pues cada una de ellas se obtiene haciendo la diferencia de potenciales entre uno de los electrodos y el promedio de los otros dos. Esta operación la hace de forma análoga la red de Wilson.

Partiendo de que:

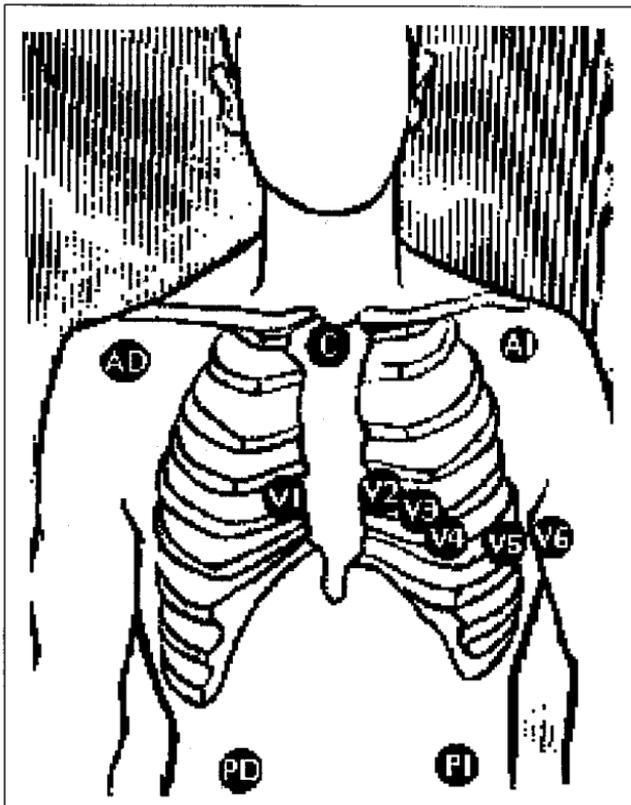
$$(2) \quad I = LA - RA$$

$$(3) \quad II = LL - RA$$

$$(4) \quad III = LL - LA$$

fácilmente se puede llegar a demostrar que:

$$aVL = \frac{I - III}{2} \quad (5)$$

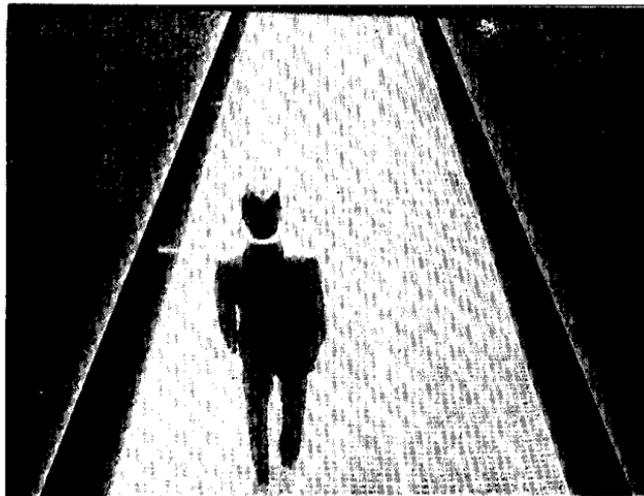


$$aVR = -\frac{I - II}{2} \quad (6)$$

$$aVF = \frac{II + III}{2} \quad (7)$$

En este proyecto se utiliza un amplificador de instrumentación para cada una de las señales bipolares y uno para las precordiales. Las tres derivadas aumentadas se calculan mediante las ecuaciones 5, 6 y 7, para lo cual es necesario tomar muestras de las señales I, II y III en el mismo instante de tiempo. Lo anterior per-

mite tener algunas ventajas sobre el sistema tradicional con la red resistiva de Wilson, pues en ésta el valor de las señales obtenidas depende del valor de las resistencias, que aunque se utilicen unas de gran calidad y muy baja tolerancia se está expuesto a cambios con la temperatura o a que introduzcan ruido a las señales. Además con la red de Wilson es necesario conmutar un multiplexor análogo doble para colocar cada una de las señales en las entradas del amplificador de instrumentación, esto hace que en forma simultánea se disponga única-



mente de una derivada. Con el sistema propuesto se puede disponer de las tres derivadas bipolares simultáneamente y haciendo los cálculos se pueden obtener las aumentadas casi simultáneamente, permitiendo que el sistema trabaje en tiempo real con las tres bipolares, las tres aumentadas y una precordial.

Debido al avance en la velocidad de procesamiento, a la disponibilidad casi simultánea de 7 derivadas y la baja frecuencia de muestreo requerida para las señales de electrocardiografía, en el tiempo transcurrido entre muestra y muestra se pueden llevar a cabo otro grupo de operaciones como filtraje digital, para obtener un sistema en tiempo real de siete derivadas debidamente procesadas para una óptima calidad.

SOFTWARE ASOCIADO

Para crear la interface con el usuario se utilizó Microsoft Visual Basic 3.0, pues este lenguaje de pro-

gramación orientado a objetos permite realizar con gran comodidad aplicaciones para Windows, que es la plataforma más adecuada para el manejo de la información por sus conocidas facilidades de comunicación y por ser el sistema operativo más utilizado por los usuarios de microcomputadoras.

Como se puede ver en la figura 2 el software asociado se puede dividir en niveles funcionales: el de adquisición de datos, el cual controla la interface y el multiplexor del conversor análogo a digital, además de organizar la serie de números que entra en un arreglo para cada una de las derivadas. La parte de diagramación e impresión es la que se encarga de organizar en pantalla la información, para lo cual asigna las propiedades a cada pixel para dar la forma de onda, y luego entregar por la impresora un registro gráfico escalizado. Para la impresión es muy recomendable usar una impresora de alta resolución, es decir,

de unos 300 puntos por pulgada (dpi) o mayor. Paralelamente a la diagramación está funcionando la parte del análisis de formas de ondas, en la cual se determinan los parámetros más importantes como frecuencia cardiaca, amplitud y duración de cada pulso y la separación entre ellos. Como último nivel se deja propuesto un sistema experto para el diagnóstico de cardiopatías, que utilizando la información obtenida en el análisis de ondas y algunos otros datos propios del paciente, puede llegar a determinar algunas posibles irregularidades o enfermedades.

PROYECCIONES

Este sistema hace parte de un desarrollo más complejo que consiste, además de este módulo de ECG, de un módulo de electrofisiología y uno de monitoreo de temperatura, que se presentará como tesis de grado en la Universidad Distrital.

Una vez se disponga de todos los módulos que se podrían adicionar a este sistema, se tenga conexión dentro de una red de área local o una red mayor como Internet; y un adecuado manejo de información mediante bases de datos, las posibilidades de disponer de esta información en cualquier parte y en cualquier momento se hacen muy elevadas. Esto podría traer como consecuencia un mejor desempeño del personal médico y aún paramédico en casos de emergencia. ●