

LA ELECTROCARDIOGRAFIA INTELIGENTE :  
UN NUEVO CONCEPTO

J. Galván Ruiz, I. Gallego Fernández y G. Monserrat Monserrat  
Laboratorio de Bioingeniería  
E.T.S. de Ingenieros de Telecomunicación  
Barcelona (España)

RESUMEN

En este artículo se expone el desarrollo de un electrocardiografo convencional que incluye un microprocesador y una salida por impresora en la que se obtienen los parámetros característicos del E.C.G. procesado en forma de listado de tiempos y amplitudes. Este equipo introduce un nuevo concepto ya que por un coste similar a un electrocardiografo convencional se dispone de una máquina inteligente que permite un ahorro sustancial de tiempo de especialista.

INTRODUCCION

El electrocardiograma constituye una herramienta clínica de rutina que suministra información acerca del funcionamiento del corazón. La obtención de los parámetros característicos del E.C.G. es un trabajo de rutina que puede realizarse automáticamente con la ayuda de un ordenador. En las últimas décadas, debido al incremento del número de E.C.G. a analizar, se han venido realizando numerosos trabajos en este sentido con el objeto de agilizar el diagnóstico. Sin embargo en estos trabajos se utilizan grandes ordenadores ó miniordenadores que por su elevado coste resultan inadecuados para cierto tipo de aplicaciones en electrocardiografía.

Algunas de las ventajas que comporta el método de interpretación automática del E.C.G. frente al método clásico, consistente en la medida manual mediante una regla graduada sobre el registro gráfico, son las siguientes:

- Menor coste en la interpretación del electrocardiograma. La reducción del coste se puede estimar que es de 400 a 1.
- Permite que se efectuen mayor número de E.C.G. para un mismo paciente ya que el tiempo empleado es muy inferior mediante el análisis automático.
- Puede llegar a tener una importancia enorme en aplicaciones en que se necesiten efectuar un gran número de interpretaciones de E.C.G. como es el caso de la medicina preventiva, chequeo de un gran número de pacientes, etc.
- Este método permite realizar un mejor uso del electrocardiografista

pudiendo dedicar mayor parte de su tiempo al diagnóstico y tratamiento del paciente despojándolo de este modo de las tareas de rutina.

- El método tiene especial interés en el caso en que no existan servicios locales de cardiología, como es el caso de la medicina rural, pudiéndose enviar los resultados del análisis a los servicios de cardiología de los centros urbanos mediante las líneas telefónicas.

El electrocardiografo automático que se ha desarrollado está basado en la utilización de un microprocesador; de forma que por un lado presenta las ventajas que poseen todos los sistemas de análisis automático, es decir, diagnóstico más rápido y fiable, etc., y por otro lado presenta la ventaja adicional, condicionante para ciertas aplicaciones, del bajo coste frente a los equipos disponibles basados en máquinas grandes ó medias.

Debido a su bajo coste y al hecho de ser un electrocardiografo convencional con la característica adicional del procesado, hace que el equipo sea muy indicado para el caso de la medicina rural, pequeños ó medios hospitales regionales, cardiólogos para la práctica de la medicina privada, medicina preventiva con el objeto de efectuar chequeos, en medicina de empresas, etc.

#### DESCRIPCION DEL EQUIPO

El electrocardiografo que se ha desarrollado consta de los elementos que componen un electrocardiografo convencional y presenta la parte adicional correspondiente al procesado de la señal. El diagrama de bloques se muestra en la Figura 1.

Uno de los principales problemas es el que se refiere a la seguridad del paciente. Este punto se ha solucionado utilizando un amplificador de instrumentación aislado por transformador con el objeto de que no existan corrientes de fugas a través del paciente.

Mediante un teclado que se encuentra en el panel frontal del equipo el operador selecciona la derivación electrocardiografica que desea analizar, con esta información el microprocesador envia las señales de control adecuadas para lograr que los electrodos conectados a la entrada del amplificador sean los correspondientes a dicha derivación electrocardiografica.

A continuación se encuentra un amplificador programable de ganancia variable controlada por el microprocesador; que tiene la finalidad de cubrir, de la forma más eficiente posible, el margen dinámico completo que permite el sistema. Esto permite conseguir una precisión mayor en los resultados finales.

El sistema posee tres escalas y la conmutación se realiza bajo el control del microprocesador. El proceso es el siguiente: Al inicializar el funcionamiento del equipo pulsando el botón del microprocesador, se

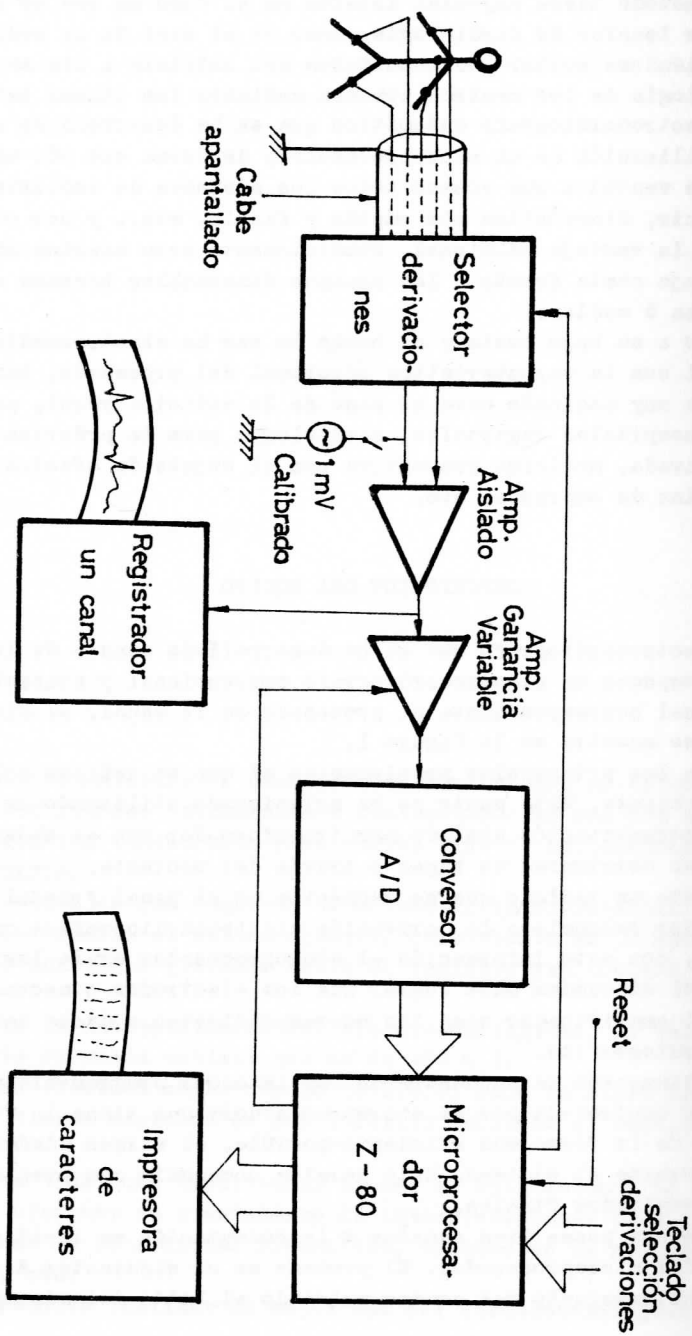


FIGURA 1

conecta automáticamente la escala correspondiente a la ganancia superior. El microprocesador decide si es necesario utilizar una ganancia inferior en función del margen dinámico que tenga la señal de entrada, conmutando en caso afirmativo.

La señal electrocardiografica convenientemente amplificada se digitaliza mediante un conversor analógico - digital de 8 bits con el objeto de que el microprocesador pueda procesarla. La frecuencia de muestreo es de 400 Hz y la adquisición de datos se realiza durante un poco más de dos segundos para asegurar la adquisición de al menos dos ciclos de E.C.G. para poder calcular la frecuencia cardiaca.

El equipo posee también un registrador de un canal convencional, de forma que se puede disponer de un registro gráfico para adjuntarlo al historial del paciente.

El calibrado del registrador se realiza pulsando un interruptor externo que introduce una fuente de tensión de 1 mV a la entrada del amplificador de instrumentación aislado.

### PROCESADO DE LA SEÑAL

El tratamiento que efectua el microprocesador podríamos desglosarlo en tres grandes bloques:

- Entrada de datos y tratamiento previo.
- Localización de los puntos característicos del E.C.G.
- Impresión de los resultados.

Véase el diagrama de flujo correspondiente al programa realizado en la Figura 2.

Dentro de la parte correspondiente a la entrada de datos se efectuan una serie de controles con el objeto de no falsear los datos de entrada y asegurar que los datos que utiliza el microprocesador para el cálculo de los parámetros del E.C.G. se encuentren libres de ruido y artefactos, así como asegurar la horizontabilidad de la línea base del E.C.G. (Véase la Figura 2).

Con el objeto de rechazar las muestras excesivamente ruidosas, se filtra la señal mediante un filtro digital no recursivo muy simple y por comparación de la señal original con la filtrada se decide que debe efectuarse una nueva adquisición de datos en el caso de que ambas señales difieran mucho entre sí, ya que esto indica que la señal original era muy ruidosa. Este ruido puede ser debido a un mal contacto en los electrodos o a que el paciente se encuentra poco relajado. Este proceso se repite cinco veces y en el caso en que se detecte ruido cinco veces consecutivas se escribe un mensaje con el objeto de que se supriman las condiciones que originan dicho ruido y se vuelve a iniciar el proceso. Otro control que se efectua con los datos de entrada es asegurar la horizontabilidad de la línea base con el objeto de no falsear

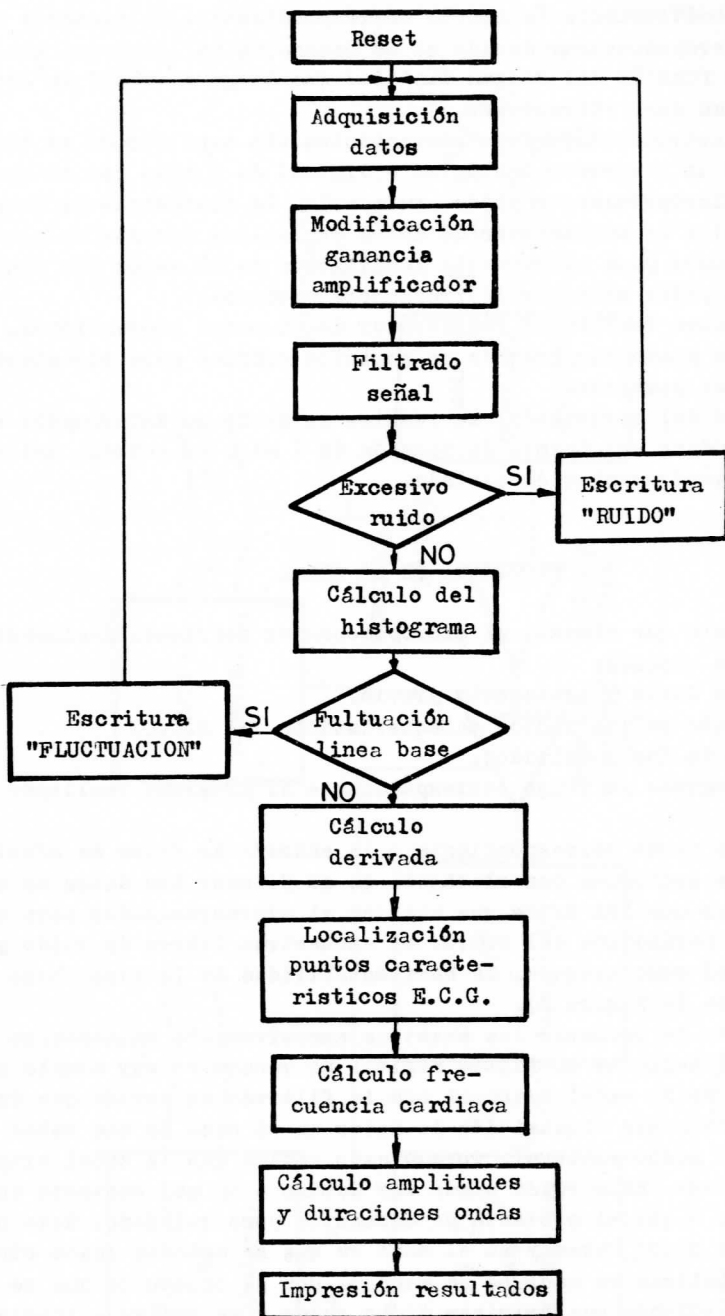


FIGURA 2

los resultados del análisis posterior. La falta de horizontabilidad de la línea base es debida al hecho de que el paciente ha efectuado movimientos mientras se realizaba la adquisición de datos. En el caso en que se detecte cinco veces consecutivas este tipo de defecto se imprime un mensaje de fluctuación con el objeto de que el operador evite los movimientos del paciente y el proceso vuelve a iniciarse de nuevo.

En el caso de que los datos de entrada hayan superado estos dos controles anteriores se inicia el procesado de la señal propiamente dicho. En primer lugar y por métodos numéricos se obtiene la derivada de la señal de entrada con el objeto de poder localizar el complejo QRS del E.C.G.

Una vez localizado y delimitado el complejo QRS nos encontramos en condición de poder detectar las ondas características R, Q y S en este orden (puntos 1, 2 y 3 correspondientes a la Figura 3).

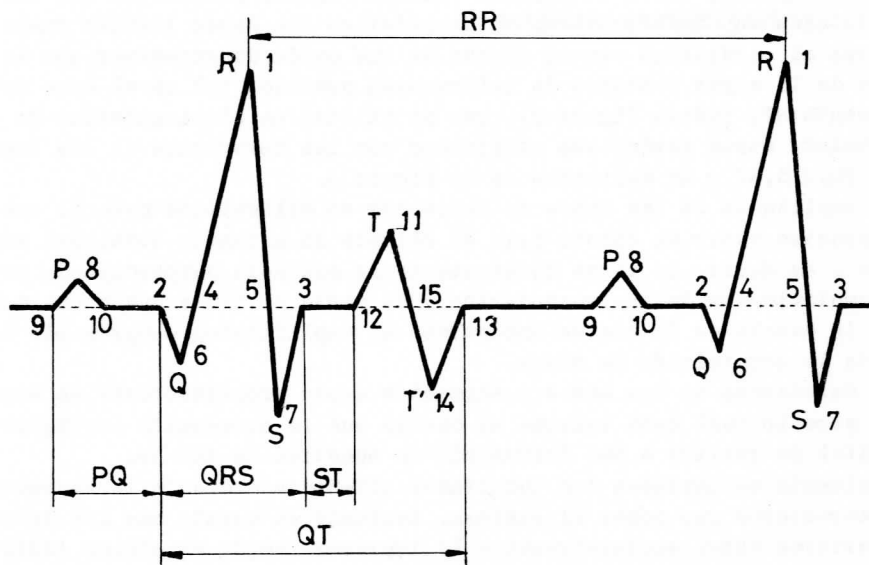


FIGURA 3

A partir de la onda R se detecta la onda P a su derecha y se determina su origen y final (puntos 8,9,10 de la Figura 3).

Finalmente unicamente queda por localizar la onda T. Para ello se procede a detectar la onda R y se investiga a su derecha. La onda T puede presentarse en varias formas: plana, monofásica y bifásica. En la Figura 3 se ha considerado que la onda T es bifásica por lo que también aparece la onda T'. Además de localizar la onda T debe también detectarse el origen y final de la misma con el objeto de poder calcular su duración (puntos 11,12,13,14,15 de la Figura 3).

A continuación se realiza el cálculo de la frecuencia cardiaca localizando el primer complejo QRS que se encuentra a la derecha del primer complejo QRS localizado ya anteriormente. Como en el caso anterior la localización de este segundo complejo QRS se realiza con la ayuda de la primera derivada del E.C.G. Una vez detectados dos complejos QRS consecutivos el cálculo de la frecuencia cardiaca se limita a calcular la duración comprendida entre las dos ondas R consecutivas.

Una vez localizados todos los puntos característicos de las ondas que componen la señal electrocardiográfica, se puede iniciar el cálculo de las amplitudes y duraciones de dichas ondas P,Q,R,S,T y T'.

Además de estos datos anteriores existen algunos parámetros que tienen un interés muy importante en el diagnóstico que deben también suministrarse al cardiólogo con el objeto de que pueda diagnosticar con la ayuda de la mayor cantidad de información posible, tal es el caso del segmento ST, (Véase Figura 2), que se utiliza en el diagnóstico de arritmias. Otros parámetros utilizados son las duraciones de los segmentos PQ, QRS, ST y QT definidos en la Figura 3.

Las amplitudes de las ondas se deben dar en milivoltios para lo cual es preciso tener en cuenta para el cálculo la ganancia total del sistema, es decir, la parte constante de la ganancia proporcionada por el amplificador de instrumentación y la parte variable que viene dada por la escala en la que se encontraba el amplificador programable durante la adquisición de datos.

Las duraciones de las ondas y segmentos deben proporcionarse en segundos para lo cual debe tenerse en cuenta que la conversión analógico - digital se realiza a una frecuencia de muestreo de 400 Hz.

Finalmente se imprimen los resultados obtenidos mediante la impresora de caracteres que posee el sistema, teniendo en cuenta que los datos anteriores deben suministrarse a la impresora según el código ASCII de 6 bits. Después de la impresión de los resultados el equipo se encuentra en condiciones de volver a iniciar el proceso mediante el accionamiento del reset del microprocesador.

El equipo utilizado para efectuar el cálculo de los parámetros es un Zilog 80 que posee 4K de memoria y

FIGURA 2