

DISEÑO DE UN ELECTROCARDIOGRFO DE 12 CANALES CON ATRACTIVAS OPCIONES DE CONECTIVIDAD

A.L. Fernández, O.I. Mora, J.M. Quintero, H. Garrido, E. Medina,
M.A Grillo, M. Gómez, G. Botana y R. González

Instituto Central de Investigación Digital
Calle 202 No. 1704 Playa C. Habana.
Email: arlem@icid.cu

RESUMEN

Este trabajo presenta las principales características del diseño electrónico, así como las prestaciones fundamentales de un electrocardiógrafo de 12 canales, destinado a la realización del electrocardiograma estándar en condiciones de reposo. Su portabilidad, amplio formato de impresión, pantalla de alta resolución, capacidad de almacenamiento de casos y sus opciones de conectividad lo ubican en el estado del arte de los electrocardiógrafos multicanales. Todas estas prestaciones se han implementado sin descuidar los requisitos de seguridad eléctrica y compatibilidad electromagnética (EMC) para estos equipos, establecidos por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).

Palabras claves: Electrocardiógrafo, electrocardiógrafo multicanal, electrocardiógrafo de 12 canales, ECG en reposo.

ABSTRACT

This paper presents the most outstanding features of the design as well as the fundamental benefits of a 12 leads digital electrocardiograph, intended for the performance of a resting electrocardiogram. Their portability, wide format of printing, high resolution screen, its capacity of storage cases and the choices of connectivity satisfy the state of the art of digital multichannel ECG machines. These and other benefits have been possible without neglecting the requirements of electrical safety and electromagnetic compatibility (EMC) for these equipments, which is established by the International Electrotechnical Commission (IEC).

Key words: Multichannel electrocardiograph, 12 leads ECG machine, ECG machine, Resting ECG.

1. INTRODUCCION

El electrocardiograma estándar de 12 derivaciones, en lo adelante ECG, es un método tradicional establecido en manera definitiva en la electrocardiografía actual como un método de diagnóstico muy valioso. Es la prueba que se realiza con mayor frecuencia para estudiar la actividad cardíaca, ya que además de brindar una utilidad clínica significativa es un método no invasivo, muy sencillo y barato. De acuerdo a estas afirmaciones, y teniendo en cuenta que los problemas cardíacos siguen constituyendo la principal causa de muerte a nivel mundial, los electrocardiógrafos para ECG en reposo se siguen utilizando en la práctica médica diaria. El objetivo del presente trabajo es exponer el proceso de diseño de un electrocardiógrafo digital de 12 canales, con medición y diagnóstico automático del ECG, que ofrece adicionalmente múltiples opciones de conectividad.

2. METODOLOGÍA

Para obtener un electrocardiógrafo de 12 canales destinado a pruebas de ECG en reposo, que pueda situarse en el estado del arte de los equipos de su tipo, se necesita, además de las prestaciones básicas vinculadas a la adquisición, medición y registro de las 12 derivaciones del ECG lo siguiente:

- Visualización del ECG en una pantalla a color
- Impresión de reportes en papel de oficina
- Almacenamiento de más de 100 casos
- Conectividad por USB y red local tipo ethernet.
- Transmisión del ECG por modem y por e-mails.

Para lograr estas prestaciones se define primeramente la arquitectura general del hardware que pueda garantizarlo, y posteriormente se determina la plataforma de software para la aplicación principal.

2.1 Diseño de Hardware

Debido a las opciones de conectividad se decide utilizar una tarjeta procesadora industrial o SBC (Single Board Computer) con interfaz PC-104, que incluya el manejo de las mismas. Esta tarjeta se debe acoplar a un bloque que contenga el amplificador de ECG y la etapa de conversión analógico-digital (A/D). Estos tres elementos van a constituir el bloque principal del equipo, representado como bloque 2 en la figura 1. Este se comunica con otro que debe garantizar el manejo de forma autónoma del registrador térmico y el teclado alfanumérico del equipo, representado como bloque 6 también en la figura 1.

El manejo del display a color, el USB y la red local (Bloque 8) se debe lograr directamente de la SBC; mientras que la transmisión vía modem y el envío/recepción de e-mail se debe resolver utilizando un modem interno (Bloque 7). Los formatos de transmisión deben ser compatibles con el protocolo de comunicación estándar SCP-ECG [1].

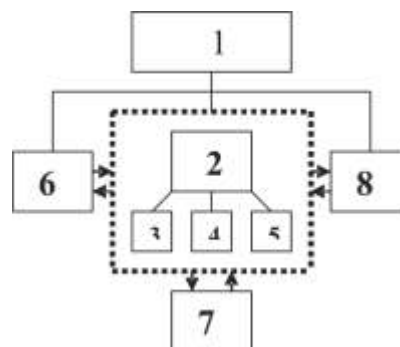


Fig 1. Arquitectura general del hardware. 1: Fuente de alimentación; 2: Bloque principal que incluye al amplificador de ECG(3), al bloque de conversión A/D(4) y a la SBC (5); 6: Bloque del registrador térmico y el teclado alfanumérico; 7: Bloque de modem; 8: Otros periféricos.

Todos estos bloques necesitan recibir la alimentación a partir del bloque 1 o bloque de fuente. Este bloque debe incluir respaldo de baterías recargables de Níquel-Hidruro Metálico (Ni-MH).

2.2 Diseño del Software

El software principal del equipo debe tener un sistema operativo que maneje en tiempo real la adquisición y registro del ECG; así como las opciones de conectividad que se necesitan, ocupando un espacio de memoria reducido. Entre las opciones a valorar se encontraron los sistemas Windows CE, Windows XP Embedded y Linux. Se debe utilizar además, un lenguaje de programación adecuado para los microcontroladores que manejan el teclado alfanumérico y el registrador térmico.

3. RESULTADOS

Definida la arquitectura del hardware y las posibles plataformas de software, se pasa a la explicación del diseño electrónico y del sistema operativo utilizado en la aplicación.

3.1 Arquitectura del Hardware

De acuerdo a los requisitos mecánicos que impone la caja plástica utilizada como cubierta del electrocardiógrafo, se necesitó una SBC con un formato mecánico o form factor de (90x96) mm. Se evalúan diferentes opciones de procesadores en este formato en función del rendimiento, el consumo de energía y el costo final del producto. A partir de este análisis se decide utilizar una placa basada en el procesador Geode LX [2], que a escala industrial es el que ofrece mejores características en cuanto a rendimiento, consumo y prestaciones. Las principales características de la SBC utilizada son:

- Procesador Geode LX a 500 MHz de bajo consumo
- Memoria caché L1 y L2 integrada en el CPU
- Memoria DDR de 256 MB
- 2 Puertos USB 2.0
- Red local ethernet 10/100 Mbps
- Conector integrado para compact-flash tipo I/II
- Interfaz directa con pantalla gráfica de 18/24 bit, con interfaz TTL
- Interfaz con teclado/mouse

Conjuntamente con la SBC y formando parte del bloque principal se incluye el amplificador de ECG y el bloque que controla la conversión A/D. La conversión A/D se realiza a través de un conversor serie con 11 canales de multiplexado [3]. Este dispositivo se encuentra ubicado en la parte flotante, con conexión directa al paciente. La salida serie de este conversor se transmite a través de opto-acopladores a la parte no flotante del bloque principal. Los datos correspondientes a cada uno de los canales del amplificador, son manipulados por un circuito de lógica programable [4]; el que se encarga de almacenarlos en una memoria RAM estática, e interrumpe al procesador principal de la SBC para la lectura de los mismos. Este dispositivo genera además las señales de control del conversor serie. El esquema general del bloque principal se ofrece en la figura 2.

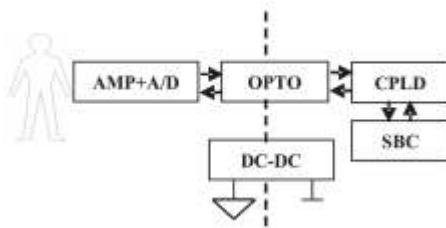


Fig 2. Arquitectura general del bloque 2 (Principal). AMP+A/D: Amplificador de ECG y bloque de conversión A/D; OPTO: Bloque de optoelectrónicos; CPLD: Dispositivo de lógica programable; SBC: Tarjeta PC-104; DC-DC: Bloque de conversión DC-DC para el amplificador.

El bloque de manejo del registrador térmico y el teclado alfanumérico y de funciones se muestra en la figura 3. Está integrado por microcontroladores que realizan el control de estos periféricos principales, comunicándose con el procesador principal situado en la SBC.

Para el control del registrador se utilizan dos microcontroladores, uno de ellos como principal basado en el dispositivo PIC 18F452 [5]. Este se encarga del manejo de la cabeza térmica, garantizando el trazado de los gráficos y textos sobre el papel termosensible. Este procesador controla además el movimiento del motor de paso, provocando el deslizamiento del papel térmico para las velocidades de 12,5; 25 y 50 mm/s. Para facilitar la comunicación entre este microcontrolador principal y el procesador principal de la SBC se utiliza el segundo microcontrolador basado en el PIC16F73 [6] en funciones de FIFO.

El control del teclado se realiza utilizando un PIC 16F57, que es capaz de manejar el teclado alfanumérico y de funciones de 55 teclas. Este teclado es manejado como uno tipo AT convencional, existiendo una correspondencia exacta en la decodificación de ambos teclados. Esta posibilidad de manejar un teclado AT convencional favorece los procesos de instalación de nuevos manipuladores de hardware y los servicios técnicos.

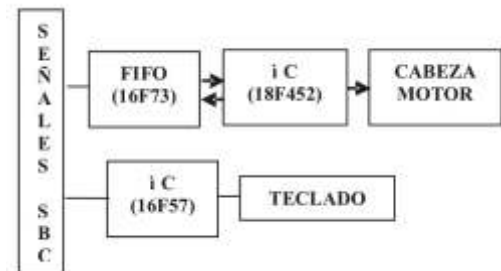


Fig. 3. Arquitectura general del bloque 6 (Control de teclado y del registrador térmico). FIFO y µC 18F452 para el control de la cabeza térmica y el motor de paso; µC 16F57 para el manejo del teclado alfanumérico.

El bloque de comunicación vía modem se detalla en la figura 4. Está integrado por un socket-modem [7], que recibe la señal en formato serie proveniente de la SBC, y la transforma para su transmisión a través de la red telefónica. De esta forma se garantiza la conexión del equipo con sistemas de segunda opinión. Adicionalmente, incorpora la opción de envío/recepción de e-mail, que posibilita el envío de casos a centros especializados conectados a Internet, con el fin de que sean diagnosticados por un especialista.

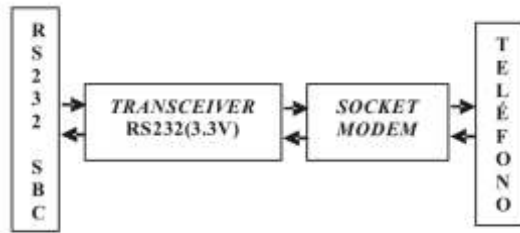


Fig 4. Arquitectura del bloque 7 (Transmisión por MODEM). TRANSCEIVER: Adapta los niveles del RS232 de la SBC y los 3,3 V del MODEM; SOCKET MODEM: Es interno e incluye Tx/Rx de e-mail.

El resto de los periféricos que se pueden conectar a la SBC se incorporan en el bloque número 8 y se representan en la figura 5. Entre estos se incluye una pantalla gráfica con resolución de 640x480 puntos o VGA, dos puertos USB 2.0 y una red local tipo ethernet.

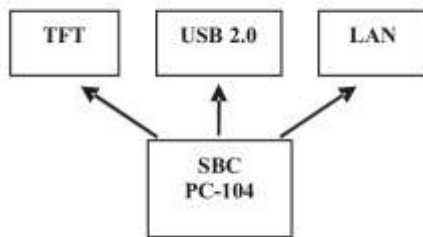


Fig 5. Arquitectura del bloque 8 (Otros periféricos). TFT: Cristal líquido a color con resolución 640x480; USB 2.0: Para impresora o flash externa; LAN: Para conectar el equipo en una red local tipo ethernet.

El último bloque del hardware del equipo aparece en la figura 6 y corresponde a la fuente de alimentación. Es el que garantiza la alimentación de los distintos bloques electrónicos a partir de la tensión que ofrece la red industrial de corriente alterna o las baterías de respaldo. Este bloque da cumplimiento a los principales requisitos de seguridad eléctrica del equipo. Es una fuente conmutada para un equipo Clase I tipo CF, y tiene una eficiencia mayor del 75 %.

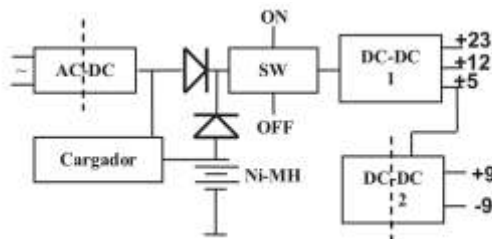


Fig 6. Arquitectura del bloque 1 (Fuente de alimentación). AC-DC: Bloque de conversión de corriente alterna en corriente directa; SW: Conmutador electrónico; DC-DC1: Bloque de conversión de corriente directa en corriente directa no aislado; DC-DC2: Igual al anterior pero sí es aislado. Garantiza la alimentación al amplificador de ECG.

3.2 Plataforma del Software

Se selecciona como sistema operativo a Windows XP Embedded. Con este sistema, a partir de la inclusión de las componentes que se requieran utilizar, se puede obtener una imagen que ocupe un espacio reducido en dispositivos de almacenamiento como compact flash. El uso de este sistema operativo como software principal de la aplicación, permite un manejo muy amigable de todos los recursos de hardware, incluyendo las atractivas opciones de conectividad.

Entre sus características más novedosas se encuentran:

- Sistema operativo embebido adaptado a las características técnicas del equipo.
- Interacción con el operador a través de dos paneles de botones, uno físico y el otro virtual, que se muestra en la pantalla gráfica.
- Manejo en tiempo real de una gran variedad de dispositivos diferentes (adquisición del ECG, modem, USB, LAN y puerto serie).

Sus funciones principales son:

- Interacción con el operador del equipo.
- Recogida y almacenamiento de la señal de ECG.
- Análisis de la señal, identificación y medición de las ondas que la componen.
- Emisión de diagnósticos, de acuerdo a criterios de amplio uso en la cardiología a nivel mundial, incluyendo el de reconocidos especialistas nacionales.
- Manejo de las diferentes opciones de conectividad.
- Mantenimiento de la base de datos de pacientes almacenada en la misma memoria tipo flash, desde donde se ejecuta la aplicación.

El software de bajo nivel está basado en el lenguaje ensamblador de los microcontroladores que manejan el registrador térmico y el teclado alfanumérico y de funciones del equipo.

4. DISCUSIÓN

Se obtiene un equipo que además de realizar las tareas básicas de todo equipo de su categoría, ofrece opciones de conectividad muy atractivas para las posibilidades de comunicación que existen en la actualidad. Estas opciones van a facilitar la impresión de reportes en papel de oficina, el traslado de estudios de ECG en medios externos de almacenamiento y la conexión de equipos en red. Todo esto influye positivamente en la calidad de los servicios de gestión hospitalaria.

Especial atención merece la transmisión de los 12 canales del ECG en reposo a través de un modem. Esta opción le permite a un personal no experto en diagnóstico electrocardiográfico recibir la opinión autorizada a la mayor brevedad posible, y tomar las medidas adecuadas de acuerdo al caso.

Los equipos que han sido sometidos a pruebas paramétricas y de seguridad de acuerdo al estándar para electrocardiogramas multicanales con interpretación [9]. Los resultados de estas rigurosas pruebas han sido satisfactorios, lo cuál ha favorecido su introducción en la práctica médica para pruebas de uso. Actualmente se encuentra instalado uno de estos equipos en la Sala de Cuidados Coronarios del Instituto de Cardiología de Cuba, con resultados muy positivos y un nivel alto de aceptación.

Este equipo dotará a los servicios de cardiología de un equipo moderno de excelencias. En cuanto al ámbito internacional, el equipo debe insertarse satisfactoriamente en el mercado de los electrocardiogramas de 12 canales para ECG en reposo.

5. CONCLUSIONES

Las prestaciones básicas y adicionales que sirvieron como punto de partida para el diseño fueron cumplidas. De los resultados obtenidos y discutidos en este trabajo podemos afirmar que el electrocardiograma diseñado se encuentra en el estado del arte de los equipos para electrocardiografía en reposo. Constituye un equipo muy versátil, que se puede utilizar en todo lugar que se requiera la realización del ECG estándar de doce derivaciones como son: los servicios de atención primaria, consultas, urgencias y salas de cuidados intermedios e intensivos para pediátricos y adultos. Su uso puede extenderse también a instalaciones dentro de la medicina deportiva.

REFERENCIAS

- [1] European Committee of Normalization: Health informatics-Standard communication protocol-Computer assisted electrocardiography: CEN/TC 251/N002-015.
- [2] AMD Geode™ LX processors data book (2007), AMD (<http://www.amd.com>).
- [3] TLC2543, 12 bit analog-to-digital converter with serial control and 11 analog inputs (1997), Texas Instruments (<http://www.ti.com/>).
- [4] MAX 7000. Programmable logic device family (2005), Altera (<http://www.altera.com/>).
- [5] PIC18FXX2 data sheet. High performance, enhanced flash microcontrollers with 10-bit A/D (2002), Microchip.
- [6] PIC16F7X data sheet. 28/40 pin, 8-bit CMOS flash microcontrollers (2002), Microchip (<http://www.microchip.com>).
- [7] SocketModem™ IP. A complete ready to integrate V.92/56k modem plus a complete TCP/IP protocol stack (2003), Multitech Systems.

[8] Windows embedded. Which to choose: Evaluating Microsoft Windows CE.net and Windows XP embedded (2001), Microsoft (<http://www.microsoft.com/windows/embedded>).

[9] International Electrotechnical Comisión: Medical electrical equipment. Particular requirements for safety, including essential performance, of recording and analysing single channel and multichannel electrocardiographs, Part 2-51: IEC 60601-2-51.