

Generador portable de señales electrocardiográficas para prueba funcional en monitores de signos vitales

G.A. Martínez Chávez

Instituto Mexicano del Seguro Social,
México

`gustavo.martinezc@imss.gob.mx`

Resumen. El presente trabajo expone la experiencia en lo referente a la implementación y empleo de un circuito portable de señales Electrocardiográficas (ECG) de bajo costo para su uso en pruebas de funcionamiento en monitores de signos vitales en aquellas unidades médicas que cuentan con dicho equipamiento. Para tal fin se describe el desarrollo de un circuito generador de señales ECG, para la evaluación funcional de monitores de signos vitales; para lo cual se parte del análisis de la señal ECG; y de su integración como una señal compuesta mediante el uso de circuitos digitales secuencial consistentes en una serie de biestables, mismos que se hacen conmutar de forma sincrónica con una misma señal de reloj, para así obtener la gráfica de los parámetros (P, Q, R, S, T) de la señal ECG. Se consiguió implementar la salida de pulsos en rangos de pulsaciones porque simularon algunas cardiopatías que se usaron en las pruebas realizadas y que podrán adaptarse a cualquier monitor de señales ECG (electrocardiógrafo, monitores de signos vitales, prueba de esfuerzo, etc.). Los resultados obtenidos son valores promedio; mediante los cuales es posible determinar si el equipo está funcionando o requiere de algún tipo de ajuste específico. Para tal efecto se toma como referencia el ejercicio efectuado en monitores del Hospital General de Zona HGZ30” Iztacalco” como parte de las acciones del programa de mantenimiento preventivo que integra el análisis de datos que genera la gestión de equipo médico para la planeación de las necesidades a corto y largo plazo de la unidad.

Palabras clave: generador de señal ECG, pruebas de calibración, electro medicina.

Portable Electrocardiographic Signal Generator for Functional Test on Vital Signs Monitors

Abstract. This work presents the experience regarding the implementation and use of a low-cost portable Electrocardiographic (ECG) signal circuit for use in functional tests on vital signs monitors in those medical units that have such equipment. To this end, the development of an ECG signal generator circuit is described for the functional evaluation of vital signs monitors; for which it starts from the analysis of the ECG signal and its integration as a composite signal through the use of sequential digital circuits consisting of a series of flip-flops,

which are switched synchronously with the same clock signal, in order to obtain the graph of the parameters (P, Q, R, S, T) of the ECG signal. It was possible to implement the pulse output in pulse ranges, because they simulated some heart diseases that were used in the tests carried out and that can be adapted to any ECG signal monitor (electrocardiograph, vital signs monitors, stress test, etc.). The results obtained are average values, through which it is possible to determine if the equipment is working or requires some type of specific adjustment. For this purpose, the exercise carried out on monitors of the General Hospital of the HGZ30 "Iztacalco" Zone is taken as part of the actions of the preventive maintenance program that integrates the analysis of data generated by the management of medical equipment for planning needs short and long term of the unit.

Keywords: ECG signal generator, calibration tests, electro medicine.

1. Introducción

En la actualidad es de importancia evaluar en forma periódica la operatividad de los monitores que son equipos médicos que cumplen la función de monitorizar continuamente o de forma periódica los parámetros vitales del paciente en que se destacan las señales electrocardiográficas del paciente. Así se proporciona la confianza al personal médico que utiliza estos equipos para tratar a los pacientes y diagnosticar a tiempo alguna cardiopatía; caso contrario el equipo puede entregar malos resultados y el médico realizaría un diagnóstico y tratamiento inadecuado al paciente, motivo por el cual se requiere tener un generador de señales ECG en las unidades de atención médica.

En las últimas décadas, los dispositivos médicos, han evolucionado de una forma vertiginosa en que se incluyen nuevas funciones de adquisición, procesamiento de datos, conectividad y automatización entre otras muchas prestaciones; No obstante, para su óptimo desempeño es necesario verificar su estado funcional en que se incluyen los procesos de calibración.

Hoy en día en el mercado nacional existe una variedad de equipos relacionados con el uso de simuladores para dispositivos médicos convirtiéndolos en una herramienta esencial para los ingenieros biomédicos y/o personal técnico encargado de efectuar las tareas de mantenimiento en los centros de salud.

No obstante, dichos equipos tienen un alto costo, especialmente cuando son destinados a unidades hospitalarias y en aquellas instituciones de salud que carecen de un marco normativo que facilite su ministración, situación que nos llevó a diseñar nuestro propio generador de señales ECG, utilizando para ello los recursos tecnológicos disponibles en el mercado, así como que estos tuvieran una inversión moderada al momento de su adquisición.

Con estos antecedentes se planteó como objetivo principal el desarrollar un generador de señales ECG de muy bajo costo con un doble propósito.

- a. Como **dispositivo** que fuera un generador portable de la señal ECG que contribuya en las actividades de mantenimiento a equipo médico en los centros de atención médica.

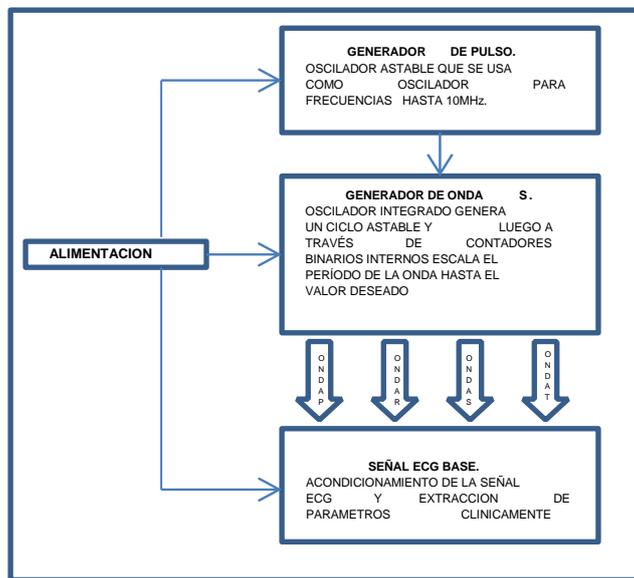


Fig. 1. Diagrama a Bloques del Generador de Señales ECG.

- b. Al igual que **material didáctico**, que permita la enseñanza de los fundamentos del electro medicina a menudo vista como la integración de la electrónica y fisiología, conocimientos aplicados a la comprensión de cómo un dispositivo medico funciona o por qué está funcionando mal.

Por ello en el presente trabajo se expone la implementación de un generador de señales ECG para la evaluación funcional de monitores, especialmente para las pruebas: amplitud de la onda seno y frecuencia cardiaca con características básicas de los simuladores comerciales, lo que permitirá poder utilizarlo en las actividades de mantenimientos y revisiones periódicas de este tipo de equipo con que cuenten las unidades médicas.

De igual manera se describen los principales elementos de diseño y desarrollo de un sistema para la generación de las señales de calibración para electrocardiografía indicadas en las normas de la Comisión Electrotécnica Internacional (*IEC*, del inglés *International Electrotechnical Commission*) mediante el uso de circuitos digitales secuencial consistentes en una serie de biestables, los cuales se hacen conmutar de forma sincrónica con una misma señal de reloj, lo que facilita contar con un equipo portable para ensayar, calibrar y ejecutar el mantenimiento y reparación de este tipo de equipamiento.

Finamente se tomó como referencia el ejercicio efectuado en monitores del Hospital General de Zona HGZ30” Iztacalco” como parte de las acciones del programa de mantenimiento preventivo que integra el análisis de datos para la gestión de equipo médico y la planeación de las necesidades a corto y largo plazo para la sustitución de equipo que llegue a requerir la unidad.

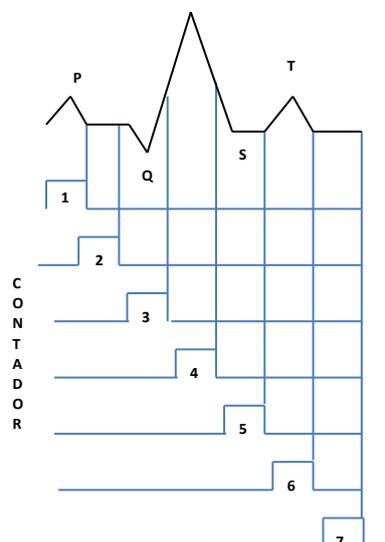


Fig. 2. Integración de pulsos del contador para obtención de las ondas P, R, T.

2. Metodología

Para el desarrollo de este dispositivo que permite generar una señal ECG básica se consideraron las siguientes etapas a partir del diseño de circuitos discretos (circuitos integrados, resistencias, condensadores, diodos), obteniéndose de esta manera la señal requerida de ECG básica, utilizando una batería portátil recargable de 9Volts para su alimentación. En la Fig.1 se presenta el diagrama a bloques del generador de señales propuesto.

a. Oscilador

En el desarrollo de esta etapa del circuito se utilizó un oscilador de cristal de cuarzo (XT) con capacidad de 4 MHz, que al ser utilizados en el diseño de osciladores presentan frecuencias muy precisas y estables, lo cual no sucede con los osciladores tipo RC. El oscilador generará los pulsos necesarios para habilitar la etapa de generación de pulsos.

b. Generador de pulso

Esta etapa trabaja una vez que es habilitado el oscilador (XT); obteniendo en la salida del circuito una señal pulsante con frecuencias aproximada de 1Hz (valor referencial) y otra salida de frecuencia de un valor aproximado de 16 Hz que sirve para acondicionar la etapa del Generador de ondas. Y de esta manera trabajar con el simulador ECG.

c. Generador de ondas

En esta etapa se utilizaron las salidas del contador decimal C.I. 4017; es habilitado por pulsos provenientes del generador de pulsos; en esta etapa se utilizó las salidas Q2

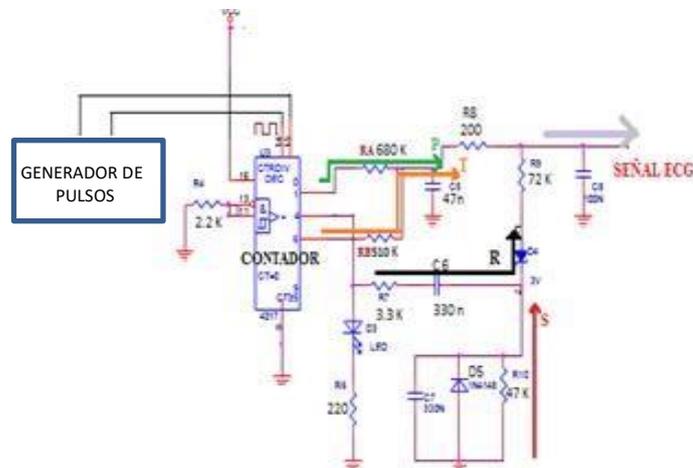


Fig. 4. Circuito para la obtención de la señal ECG básica.

- b. **ONDA R:** Es generada por las ondas cuadradas de Q10 (contador 4017) que representa al número 4 (ver figura 2) y se encuentra desfasada con las demás ondas (P, Q, T). El pulso generado por el contador 4017 tiene una amplitud de 5 V, pero es limitado por la resistencia R7 (valor teórico 3.3. K Ω) para la carga y descarga del condensador C6; la onda R generada en este caso será insertada por el circuito diferenciador formado entre la resistencia R10 y condensador C6 que también adjunta una caída de voltaje (-0.7 V) que simula a la onda S. En la onda R la amplitud pico es mayor que las demás ondas, por consecuente R7 (3.3K Ω) es menor que los anteriores resistores, para lograr una menor caída de tensión y esto simule una onda pico con mayor amplitud (no mayor a 3.8 V) en relación a las demás ondas (en la figura 4 está representado por la línea de color negro). La onda R se encuentra limitada por el diodo D4 que solo deja pasar un voltaje máximo de 3.8 V y es sumada a las ondas P y R, por medio del sumador formado por las resistencias R8 y R9 (se aplica la sumatoria de corriente).
- c. **ONDA S:** La onda S se obtiene de la caída de voltaje negativo, tiene un valor pico inverso (amplitud). Para tener la onda S se trabajó con un circuito que genere la carga negativa como son el diodo D5 inverso que limita la tensión en 0.7 Volts, y al encontrarse inverso nos genera una caída de tensión de - 0.7 Volts produciendo el valor pico para la que simula la onda S (en la figura 4 está representado por la línea de color rojo). Esta onda es insertada por el diferenciador formado entre el condensador C6 y la resistencia R10, esto a su vez acopla la señal con la onda R.
- d. **ONDA Q:** Es generada en la etapa de descarga de la onda P causada por el condensador C6 (ver la gráfica 4).

En la Fig.4 podemos observar una señal ECG, como resultado de la simulación del circuito básico en el programa Multisim Student Edition, en que se observa cómo se va generando por etapas desde las señales pulsantes del contador 4017; estas al sumarse

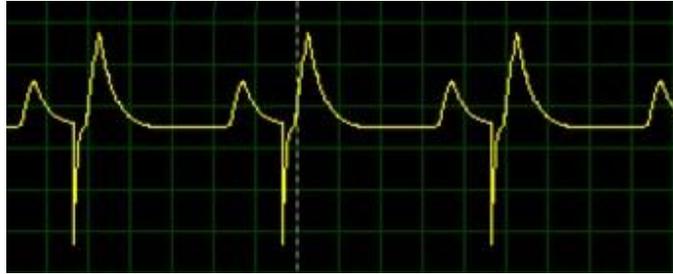


Fig. 5. Resultado en la simulación del circuito con el programa Multisim ver.13 obteniendo la representación de la señal ECG.

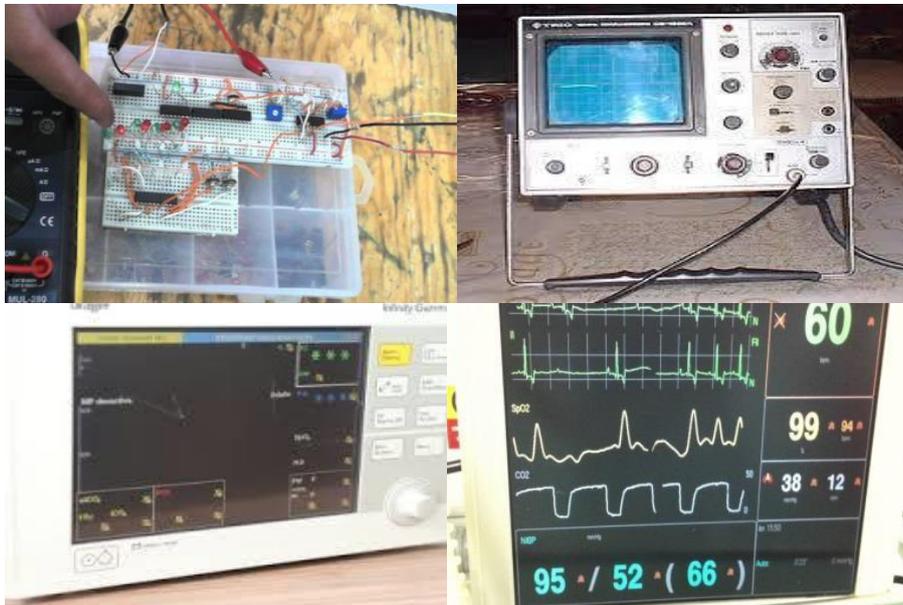


Fig. 6. Armado del generador de señales ECG y comprobación funcional entre diversos monitores, para ello se ingresa una frecuencia seleccionada que puede ser 30, 60, 120, 240 PPM. en el simulador y tiene que ser visualizado el mismo valor en el monitor ECG.

entre sí generan un pico en cada pulso de la onda PQ, que se unen con la onda T para formar una señal PQT y a la vez con ayuda de un capacitor reducimos el ruido generado para tener como resultado una señal ECG.

3. Resultados

Al término del armado del prototipo, se efectuaron pruebas de funcionamiento en 22 monitores de signos vitales con que cuenta el Hospital HGZ30 “Iztacalco”, para así

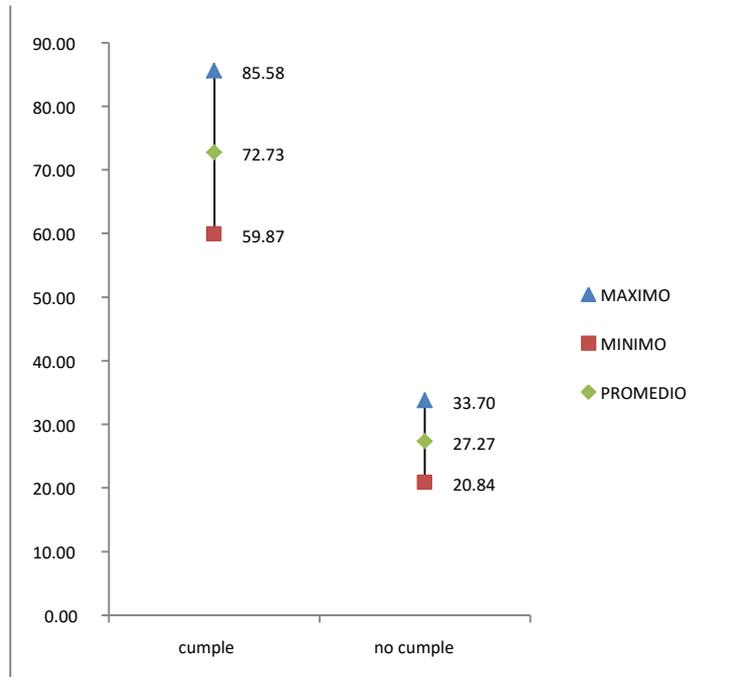


Fig.7. Armado del generador de señales ECG y comprobación funcional entre diversos monitores, para ello se ingresa una frecuencia seleccionada que puede ser 30, 60, 120, 240 PPM. en el simulador y tiene que ser visualizado el mismo valor en el monitor ECG.

comprobar la funcionabilidad del generador de señales ECG, para lo cual se estableció el siguiente procedimiento para las pruebas de los monitores:

Se ingresa una frecuencia seleccionada (30, 60, 120, 240 PPM) en el simulador y tiene que ser visualizado el mismo valor en el monitor ECG.

El valor de amplitud recomendada para efectuar la prueba de la señal ECG fue de 1 mVolt para que no se distorsione al momento de presentarse en la pantalla del monitor, obteniéndose la siguiente evidencia técnica:

Del análisis de los resultados se obtuvo que el $72.73 \pm 12.86\%$ de los equipos cumplen con su funcionamiento mientras que $27.27 \pm 6.43\%$ no es recomendable su uso, siendo indispensable su inspección por parte de personal especializado, ya que con el empleo del generador de señales ECG únicamente es posible el obtener una señal que de manera práctica nos permite realizar pruebas referente al estado de operación de las diferentes etapas que componen al monitor, es decir el cable paciente, el módulo de procesamiento de señal, la sensibilidad del monitor, impresora, etc. Si el monitor no pasa la prueba con el simulador este es un criterio de exclusión para que el equipo no deba ser utilizado en el paciente, obteniéndose el siguiente gráfico.

De igual manera se logra prevenir la discontinuidad en el uso del equipo, mediante el fortalecimiento del procedimiento de inspección, medición de parámetros y valores, cambio de insumos, materiales, partes y repuestos que son necesarios e intervienen en el funcionamiento del equipo.

4. Discusión

El prototipo expuesto representa el desempeño de un simulador básico que puede ser utilizados como un método didáctico para la formación médica, al igual que puede ser de utilidad para la realización de pruebas y calibraciones en equipo electro médico.

En dicho sistema se conjunta la necesidad de contar con una herramienta propia que fue diseñada y construida con una inversión mínima en comparación con las soluciones comerciales disponibles en el mercado.

Ya que se cuenta con un circuito capaz de ser funcional tanto en un departamento de ingeniería biomédica o servicio de conservación de un hospital, como también se obtiene una herramienta para la educación del estudiante en ingeniería biomédica como de medicina, ya que resulta fácil el comprender lo que en las aulas se exponen desde una perspectiva meramente didáctica.

Con este primer prototipo se logró consolidar un generador de señales ECG de bajo costo, funcional y portátil, ya que el usuario puede elegir la señal que quiere ver en el monitor, lo que posibilita en gran medida su perfeccionamiento al poder integrar diversas componentes tecnológicos como puede ser el uso de Microcontroladores y/o DSP con los que es posible el emular patrones de señales cardiacas de mayor complejidad como es el caso de fibrilación y la taquicardia ventricular que son dos situaciones con que se prueban los desfibriladores.

En el caso del hospital HGZ30 "Iztacalco" la institución cuenta con unos 39 equipos que permiten la monitorización de ECG, el empleo de este generador facilito el establecimiento de criterios de inclusión para que la periodicidad con que se ejecute el mantenimiento preventivo a dichos equipos sea al menos cada 6 meses en promedio, como parte del plan anual de mantenimiento para equipos biomédicos del hospital, resaltando de esta manera la importancia de ejecutar las tareas del mantenimiento preventivo para conservar y prolongar la vida útil de los equipos al igual que se garantiza su pronta disponibilidad en caso de emergencias o urgencia.

5. Conclusiones

Con la experiencia obtenida en el desarrollo del presente proyecto se pone de manifiesto la iniciativa en el desarrollo de herramientas tecnológicas para ambientes hospitalarios, que de manera implícita busca proporcionar un beneficio para la población derechohabiente, ya que es posible el poder dotar a las unidades operativas de equipo de instrumentación biomédica, que coadyuve con el cumplimiento de los planes y programas de mantenimiento establecidos en las unidades de atención médica, al igual que se fomenta el desarrollo del ingeniero biomédico dentro de las unidades de servicios de salud.

Referencias

1. Gao, D., Madden, M., Chambers, D., Lyons, G.: Bayesian - ANN classifier for ECG arrhythmia diagnostic system: A comparison study from neural networks. In: Proceedings IEEE International Joint Conference, 4, pp. 238–2388 (2005)

G.A. Martínez Chávez

2. Ghongade, R., Ghatol, A.: A robust and reliable ECG pattern classification using QRS morphological features and ANN. In: TENCON'08, IEEE Region 10 Conference Issue, pp. 1–6 (2008)
3. Turker, I., Serkan, K., Moncef, G.: Automated patientspecific classification of premature ventricular contractions. Engineering in Medicine and Biology Society 30th Annual International Conference of the IEEE, pp. 5474–5477 (2008)
4. Renesas: <https://www.renesas.com/us/en/www/doc/datasheet/cd4017bms22bms.pdf>. (2017)
5. Ti: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4521b.pdf>
6. Ado, M., Chang, C.-C.K., Gravano, L., Paepcke, A.: The stanford digital library metadata architecture. *Int. J. Digit. Libr.*, 1, pp. 108–121 (1997)