

Analizador De Desfibriladores Bifásicos Usando PSoC 4

J. I. Gamboa

Escuela de Ingeniería, Universidad Modelo, Mérida, Yucatán, México
JoaquinGamEs25@hotmail.com

Resumen— Los desfibriladores de onda bifásica son los más usados actualmente para corregir arritmias cardíacas. Para saber si el desfibrilador entrega los niveles de energía de forma correcta se ha desarrollado un analizador de desfibriladores bifásicos con el microcontrolador PSoC 4, un sensor de corriente ACS712 y una resistencia de carga de 50 ohms a 100 watts. El analizador demostró ser capaz de determinar la cantidad de energía, en Joules (J), contenida en el pulso de desfibrilación bifásica y en cada una de sus dos fases; graficar el pulso de desfibrilación; determinar, en milisegundos, la duración total del shock de desfibrilación bifásica, la duración de cada una de sus dos fases y del intervalo comprendido entre ellas; determinar, en amperes (A), la corriente máxima y mínima del pulso de desfibrilación bifásica; y mostrar al usuario si las mediciones realizadas excedieron las capacidades de censado del dispositivo.

Palabras clave— **Analizador, Desfibrilador, Energía, Microcontrolador, Onda Bifásica, PSoC 4**

I. INTRODUCCIÓN

Se define al desfibrilador como un elemento que administra una descarga eléctrica, controlada y preestablecida, a través del miocardio del paciente que presente alguna arritmia cardíaca, con el objetivo de lograr la despolarización temporal del miocardio y, de este modo, conseguir que la actividad eléctrica del corazón regrese a la normalidad [1].

La descarga eléctrica de los desfibriladores, medida en Joules (J), consiste en grandes cantidades de corriente aplicadas en periodos breves de tiempo y puede ser usada para corregir arritmias tales como la fibrilación ventricular, fibrilación auricular, flutter auricular y taquicardia ventricular.

Los desfibriladores modernos se clasifican en 2 tipos, según la forma de onda: en monofásicos y bifásicos. Los niveles de energía varían según el tipo de desfibrilador y del fabricante.

Los desfibriladores de onda monofásica entregan corriente de una polaridad, vale decir, que fluye sólo en una dirección.

Los desfibriladores de onda bifásica entregan la corriente en dos fases. Primero la corriente fluye en dirección positiva durante un intervalo de tiempo determinado; posteriormente, la corriente abruptamente invierte la dirección y fluye en un sentido negativo por el tiempo restante del shock.

Las formas de onda bifásicas son las que han tendido a imponerse en los últimos años pues incorporan un ajuste de impedancia que permite compensar el shock dependiendo de la resistencia transtorácica del paciente. Además tienen mayor eficacia a bajos niveles de energía en comparación de los monofásicos a altos niveles de energía. Por ello se han vuelto la tendencia mundial en desfibrilación externa con unos 25 fabricantes y unas 15 formas de onda bifásica diferentes [2].

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) como la NOM-197-SSA1-2000, la NOM-034-SSA3-2013 y la NOM-025-SSA3-2013 mencionan la importancia y la necesaria disposición de desfibriladores en los hospitales y ambulancias. Sin embargo no existen normas mexicanas que obliguen a las instituciones hospitalarias a realizar un análisis del estado de funcionamiento de los desfibriladores.

Los analizadores de desfibriladores actuales como el Fluke Impulse 6000D son demasiado costosos para muchas instituciones, no sólo por ser precisos y certificados sino porque cuentan con simuladores de ECG y otras funciones.

Esta investigación se enfoca en el desarrollo de un dispositivo capaz de analizar el pulso (forma de onda) de un desfibrilador bifásico, en su modo manual, con el fin de determinar si éste se encuentra en condiciones óptimas para ser utilizado.

El dispositivo fue desarrollado para: determinar la cantidad de energía, en Joules, contenida en el pulso de desfibrilación bifásica y en cada una de sus dos fases; graficar el pulso de desfibrilación; determinar la duración total del shock de desfibrilación bifásica, la duración de cada una de sus dos fases y del intervalo comprendido entre ellas, en milisegundos; determinar, en amperes (A), la corriente máxima y mínima del pulso de desfibrilación bifásica; y mostrar un mensaje cuando el sensor se desborde, es decir, que avise al usuario si las mediciones realizadas excedieron las capacidades del dispositivo.

II. METODOLOGÍA

A. Esquema del analizador de desfibriladores

Para el desarrollo del analizador de desfibriladores fueron necesarios los siguientes materiales: cable, dos placas fenólicas (de 5 cm × 10 cm) de cobre, un sensor ACS712 de ± 30 amperes (A), una resistencia de carga de 50 ohms (Ω) a 100 watts (W), un microcontrolador PSoC 4, tres botones y una pantalla Nextion.

La Fig. 1 muestra una representación esquemática de cómo los elementos del analizador de desfibriladores se interconectan entre sí para permitir el paso de la corriente eléctrica generada por el desfibrilador para su consecuente medición y análisis.

Todos los elementos de la Fig. 1 se alimentan (Vcc) a 5 voltios mediante una power bank (batería recargable).

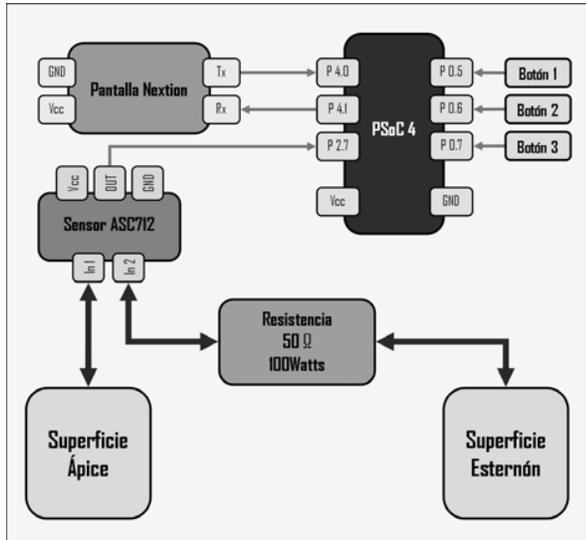


Fig. 1. Esquema del circuito del analizador de desfibriladores

A continuación se explica cada uno de los elementos utilizados.

B. Las superficies de contacto y la resistencia

Las placas fenólicas de cobre simulan los lugares del cuerpo humano en donde las palas son colocadas, es decir, simulan la zona ápice y esternón del torso humano. Por otro lado, la resistencia de 50 Ω a 100 W (para evitar su sobrecalentamiento) simula la impedancia transtorácica del cuerpo humano. Se escogió una resistencia de 50 Ω pues es la más usada por los analizadores de desfibriladores comerciales.

La descarga del desfibrilador se realiza al colocar sus palas sobre las superficies de cobre con la finalidad de que el pulso de desfibrilación atraviese la resistencia y el sensor ACS712. Cabe aclarar que el valor real de la resistencia, al medirla con un multímetro, es de 51.5 Ω .

C) Sensor ACS712

El ACS712 es un sensor de corriente, lineal para valores analógicos de salida de 0.4 voltios (V) a 4.5 V, por lo que su rango de medición, debido a su sensibilidad de 66 mV/A (mili voltios por ampere), es de ± 30 A.

Este sensor de efecto Hall mide la corriente en serie, es decir, haciendo pasar un cable a través de sus dos terminales

D) PSoc 4

El PSoc 4 es un microcontrolador del fabricante Cypress. Este microcontrolador, de 48 MHz de velocidad, es literalmente el cerebro del proyecto pues es el encargado de analizar la señal proveniente del sensor (consecuencia de una correcta desfibrilación) y de calcular los resultados que posteriormente mandará a la pantalla Nextion para ser desplegados.

Para analizar y calcular la información, en el PSoc 4 se escribió un código en lenguaje C que interactúa con seis módulos, los cuales son: un módulo Bootloadable (obligatorio en el PSoc 4), uno UART (Transmisor-Receptor Asíncrono Universal), un ADC (Convertidor Analógico a Digital) de 12 bits, un Timer y un módulo de tres botones.

El Timer del PSoc 4 se programó para generar una interrupción cada 100 microsegundos (us). Dicha interrupción se encarga de que el ADC tome cada 100 us una muestra analógica del sensor para convertirla a un valor digital y posteriormente a un valor en amperes.

Después de obtener todos los valores en amperes del pulso, se procede a varios algoritmos para calcular y obtener la información a desplegar.

La información se despliega en la pantalla Nextion, gracias a que el módulo UART permite la comunicación microcontrolador-pantalla por el puerto serial.

El módulo de botones consiste en una interrupción activada al momento de presionar uno de los tres botones. Además el módulo contiene un algoritmo para saber qué botón se ha presionado y para evitar falsos contactos causados por sus rebotes mecánicos.

E) Calculo de la energía

Las ecuaciones (4) y (5) muestran como se calcula la energía (3) si se conoce solamente el voltaje o la intensidad, respectivamente, al aplicar la ley de Ohm (1) sobre la ecuación de potencia (2).

$$V = I \cdot R \quad (1)$$

$$P = V \cdot I \quad (2)$$

$$E = P \cdot t = V \cdot I \cdot t \quad (3)$$

$$E = \frac{V^2}{R} \cdot t \quad (4)$$

$$E = R \cdot I^2 \cdot t \quad (5)$$

Sin embargo, tal y como se aprecia en (6), la energía del desfibrilador se obtiene como el área bajo la curva de la potencia, o sea, la integral de la potencia generada por el desfibrilador [3].

$$E = \int_0^{\infty} P \cdot dt \quad (6)$$

Una forma muy sencilla y precisa de obtener el área bajo la curva es elevando al cuadrado los valores de las muestras que la conforman. Mientras más valores tomemos, mayor será la precisión.

Por esa razón es posible calcular la energía de un desfibrilador utilizando (7), es decir, a través del área bajo la curva de la intensidad al cuadrado (I^2) que multiplica a la resistencia transtorácica R . Sin embargo la computación en PSoC 4 de (7) se realiza con (8), en donde t es el tiempo en el que cada muestra es tomada y z corresponde al número total de muestras.

$$E = \int_0^{\infty} R \cdot I^2 dt = R \int_0^{\infty} I^2 dt \quad (7)$$

$$E = R \cdot t \cdot \sum_{a=1}^z I_a^2 \quad (8)$$

Es por ello que al utilizar (9) obtenemos el valor de la energía en Joules (Watt Segundo) contenida en el pulso de desfibrilación.

En la ecuación (9) se eleva al cuadrado cada valor de corriente I (en amperes) muestreado y después todos esos valores se suman. Finalmente esa suma de valores se multiplicará por 51.5, ya que es el valor de la resistencia de carga elegida, y también se multiplicará por 0.0001 que corresponde al valor en segundos de los 100 us en que cada muestra es tomada.

$$E = 51.5 \cdot 0.0001 \cdot \sum_{a=1}^z I_a^2 \quad (9)$$

F) Interfaz usuario máquina

La pantalla y los tres botones -uno para cada ventana de la pantalla- han sido utilizados para crear una interfaz humano-máquina.

En la primera ventana (Fig. 5) se muestra la energía total del pulso, la gráfica de la misma (la forma de la onda bifásica) y un señalamiento que se torna amarillo cuando está en espera del shock, verde cuando la medición es correcta y rojo cuando la medición es incorrecta a razón de la saturación del sensor.

La segunda ventana (Fig. 5) muestra información más detallada del pulso, a saber: la energía total y de cada fase del pulso medida en Joules; la duración, en milisegundos, del pulso, de cada fase y del comprendido entre las fases; los valores pico máximo y mínimo de corriente en amperes y la señal de “overshoot” para saber si el sensor ha excedido sus capacidades para medir correctamente.

III. RESULTADOS

El diseño final del analizador de desfibriladores ensamblado se muestra en la Fig. 2.

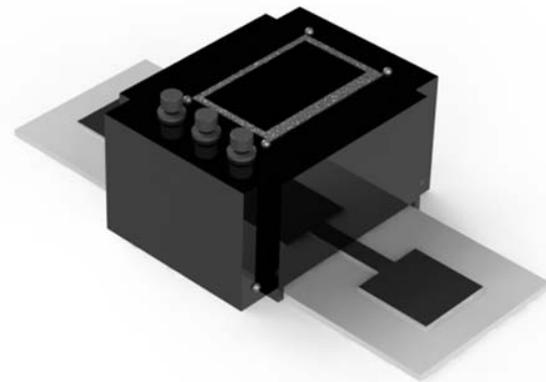


Fig. 2. Diseño final del analizador de desfibriladores

Se realizaron pruebas comparativas entre el analizador de desfibriladores Fluke, modelo Impulse 6000D, y entre el analizador desarrollado en este artículo (Fig. 2).

Téngase en cuenta que las mediciones mostradas corresponden a cuando el sensor opera de manera lineal. No se realizaron mediciones muy pequeñas porque la precisión, debido a la sensibilidad del sensor, hubiese dado resultados con errores mayores al 10%. Por otro lado mediciones demasiado altas habrían excedido los límites del sensor dando resultados imprecisos.

Para las pruebas se utilizaron los desfibriladores PhysioControl y Zoll, modelos Lifepak 10 y E Series respectivamente.

Las gráficas de barras de la Fig. 3 y Fig. 4 corresponden, respectivamente, a varias mediciones del Lifepak 10 y del E Series, en donde las barras más oscuras pertenecen al Impulse 6000D y las más claras al equipo desarrollado. Los valores sobre las barras son los valores de energía, en Joules, medidos y los valores dentro de las barras indican el porcentaje de precisión que se tuvo.

El eje vertical corresponde a la precisión (en porcentaje) y el eje horizontal se refiere a la energía, en Joules, que al desfibrilador se le pidió entregar.

La Fig. 5 muestra como lucen los resultados en la pantalla Nextion del analizador desarrollado.

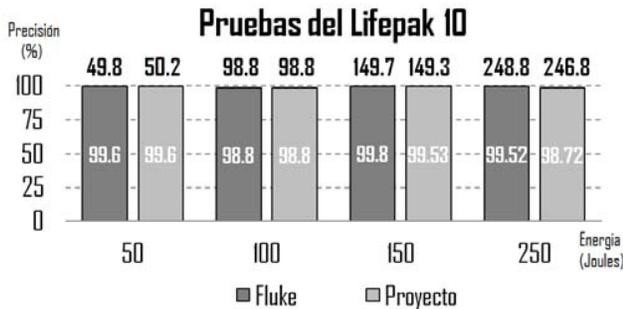


Fig. 3. Mediciones de energía del Lifepak 10 con el analizador Fluke 6000D y con el analizador desarrollado en este artículo

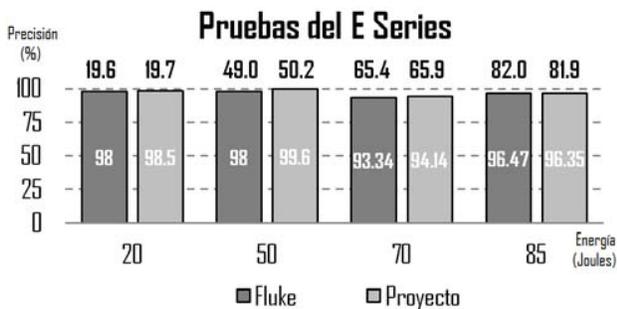


Fig. 4. Mediciones de energía del E Series con el analizador Fluke 6000D y con el analizador desarrollado en este artículo

La parte A de la Fig. 5 corresponde al Lifepak 10 y la parte B al E Series. Obsérvese cómo en la ventana 1 se muestra la energía medida y la gráfica del pulso bifásico de cada desfibrilador y cómo en la ventana 2 se muestra más información correspondiente a dicho shock.



Fig. 5. Resultados en la pantalla Nextion del analizador desarrollado en este artículo bajo un pulso de 150J del A) Lifepak 10 y del B) E Series

Nótese cómo en la Fig. 5 A se aprecia un pulso Bifásico Exponencial Truncado y cómo en la Fig. 5 B se grafica un pulso Bifásico Exponencial Rectilíneo; ambos pulsos característicos, respectivamente, de la marca PhysioControl y Zoll.

IV. DISCUSIÓN

El analizador desarrollado ha demostrado funcionar correctamente para medir las duraciones y picos de corriente del pulso. Además logra cuantificar de forma adecuada la energía contenida en el pulso para descargas por encima de los 30J.

Sin embargo es difícil establecer un valor de medición de energía máximo debido a que no todos los desfibriladores entregan los mismos niveles de corriente para la misma energía.

A base de experimentación con el analizador se puede afirmar que, bajo el uso del ACS712, es posible medir hasta 200J en un Zoll E Series y M Series; 250J en los Lifepak 10 y Lifepak 20e de PhysioControl; 170J en los Philips HeartStart MRx; y hasta 90J en los Schiller Defigard 5000.

V. CONCLUSIÓN

Los resultados demuestran que las mediciones realizadas por el analizador de desfibriladores desarrollado son precisas y comparables a las de un Fluke 6000D.

El analizador desarrollado tiene la ventaja de graficar en la pantalla (ventana 1), en base a las muestras tomadas, la forma de la onda bifásica analizada. Además, en la ventana 2 se muestra información pertinente a dicho shock, tal como: la energía total del pulso y la de cada una de sus fases, así como la duración total del pulso, de cada fase y del tiempo entre fases. Además señala los valores pico máximo y mínimo de corriente y si el sensor ha medido el pulso correctamente.

El dispositivo no puede medir valores muy grandes de energía ya que su rango de medición es de ± 30 A. Sin embargo el dispositivo avisa al usuario si la medición excedió los límites del sensor dando a entender de este modo que la medición es imprecisa. El rango de medición del analizador puede aumentarse hasta ± 50 A remplazando el sensor ACS712 por un ACS758.

Aún con estos problemas el analizador de desfibriladores desarrollado en este artículo puede llegar a representar una alternativa para determinar si un desfibrilador de onda bifásica entrega los niveles de energía adecuados bajo el tipo de onda que asegura tener. Es decir podemos determinar con él si el desfibrilador analizado funciona correctamente.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Corsiglia D, Ruiz J y Dozo C. "Reanimación cardiopulmonar y cerebral". Argentina: UDEC, 2002
- [2] Carranza G. Desfibrilación: hacia la forma de onda óptima. *Revista de la Federación Argentina de Cardiología*, Vol(43), 202-208, 2014
- [3] Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Calibración de analizadores de desfibrilación. INTI; 2015. Disponible en: <http://www.inti.gob.ar/fisicaymetrologia/pdf/pce/pee52.pdf>