

Adquisición de señales balistocardiográficas con Arduino

Acquisition of ballistocardiographic signals with Arduino

Dayana Sánchez Villalón¹, Fernando Valdés¹, Yolanda Andrial², Angela Giralt³

¹Departamento de Biomédica, Universidad de Oriente, Cuba

²Departamento de Telecomunicaciones, Universidad de Oriente, Cuba

³Departamento de Automática, Universidad de Oriente, Cuba

Recibido: 23/01/2022

Aprobado: 15/03/2022

Abstract— The noninvasive Ballistocardiogram (BCG) signal is the recording of body movements due to heartbeat and blood flow through major arteries. This signal provides enough information to calculate the heart rate and its variations over time. The present paper proposes the design of a prototype of a low-cost electronic system to record the BCG signals acquired by means of a triaxial accelerometer and gyroscope. For the design of the system, an Arduino development board, the 9-axis MPU-9250 sensor (accelerometer, gyroscope and magnetometer), and the free software RealTerm are used. The system is connected by a USB port to a personal computer from where the entire system is governed.

A model of the system was built and tested successfully with arbitrary signals, checking the correct functioning of the system and recording the data in a text file for later analysis.

Index Terms— BCG, accelerometer, gyroscope, Arduino, RealTerm.

I. INTRODUCTION

En los tiempos actuales las enfermedades cardiovasculares (ECV) constituyen una de las principales causas de muerte en todo el mundo. Esta discapacidad producida por factores genéticos, hipertensión, diabetes, tabaquismo, tasas

altas de colesterol y estrés, provoca el funcionamiento incorrecto del corazón. Estas enfermedades se reconocen, cada vez más, como un importante problema de salud pública en muchos países en desarrollo. El incremento de las tasas de mortalidad y la prevalencia de factores de riesgo observados en Asia, África y América Latina son los más importantes indicadores de la magnitud de la expansión de estas enfermedades. En Cuba los indicadores de la tasa de mortalidad en relación con las 10 primeras causas de muerte, ubican las enfermedades cardiovasculares en primer lugar, seguida por tumores malignos. Ambas causas representan el 49 % del total de las defunciones en cada año.

En la medicina actual, es imprescindible el poder diagnosticar a tiempo patologías que representan un grave riesgo para la salud humana. En muchos casos, estos diagnósticos se basan en métodos invasivos que dificultan el tratamiento e incluso pueden poner en peligro la vida del paciente. Es por ello que es de gran interés disponer de métodos de diagnóstico no invasivos y que representen la misma efectividad de aquellos que lo son. El monitoreo discreto a largo plazo de los signos vitales del paciente muestra una gran promesa para la prevención y manejo de tales enfermedades. La monitorización domiciliar puede ayudar a reducir

las tasas de mortalidad, la cantidad de tiempo en hospitales y al mismo tiempo los pacientes no tienen que ser separados de su familia.

La era moderna de la cardiología no invasiva utiliza varias técnicas de medición, como electrocardiografía (ECG), impedancia-cardiográfica (ICG), fonocardiografías (PCG), balistocardiografía (BCG), etc., para el diagnóstico de las funciones cardíacas.

El ECG es un método generalizado para evaluar la condición del corazón de un paciente, tanto de la frecuencia cardíaca como del análisis de ondas de ECG. Es una interpretación transtorácica de la actividad eléctrica del corazón durante un período de tiempo, según lo detectado por los electrodos unidos a la superficie de la piel y grabada por un dispositivo externo al cuerpo. Un ECG típico consta de 5 ondas —P, Q, R, S y T. Una alternativa discreta 2

La electrocardiografía (ECG) es el balistocardiografía (BCG). El BCG es una grabación de los movimientos del cuerpo causados por cambios en el centro de masa de la sangre en el sistema arterial y, en menor medida, en el corazón, causada por la contracción cardíaca. Entonces el BCG es una técnica para producir una representación gráfica de movimientos repetitivos del cuerpo cuando surge la expulsión repentina de sangre hacia los grandes vasos con cada latido cardíaco. Es un signo vital que consta de puntos fiduciales específicos (H, I, J, K, L, M, y N) [1].

El empleo del BCG permite determinar diversas patologías como la determinación de insuficiencia cardíaca, ya sea en enfermedades valvulares como la insuficiencia aórtica, en enfermedades coronarias, en la cardiopatía hipertensiva, la medición invasiva de la función ventricular y del gasto cardíaco.

Una de las más grandes ventajas de la medida de la señal BCG es que la persona es monitoreada sin cables alrededor de su cuerpo, de forma no invasiva mediante sensores que pueden integrarse en objetos tales como: sillas de oficinas, sillas de ruedas, básculas de baño, camas en el hogar, en hospitales, alfombras, cojines y almohadas.

Este fenómeno, el BCG que es la onda resultante de las fuerzas causadas por el desplazamiento de la sangre por el sistema arterial a resultas de la eyección cardíaca, fue descrito en 1877 por JW Gordon, quien usó un marco de madera horizontal suspendido de cuerdas y un esfigmógrafo (un registrador mecánico de vibraciones) para rastrear el

desplazamiento del cuerpo causado por el latido del corazón. El término balistocardiograma fue introducido en 1939 por el doctor Isaac Starr, construyendo el primer balistocardiógrafo indirecto. Pocos años después, los doctores Dock y Taubman diseñaron el primer balistocardiógrafo directo, ajustando unas barras metálicas sobre las superficies de las tibias del paciente acostado sobre una superficie fórmica o cama. Esta innovación fue presentada en París el 8 de septiembre de 1950, en el Primer Congreso Cardiológico Internacional [2]. Los estudios del BCG cayeron en desuso por el elevado coste de los sistemas de medida, hasta que actualmente se han descubierto otros sistemas de medida económicos [3].

Debido al auge de la electrónica digital, hoy en día se ha visto un gran resurgimiento en las investigaciones sobre BCG. Desde comienzo y hasta finales de siglo XX el fenómeno de la Balistocardiografía fue frecuentemente investigado en Norteamérica y Europa. Siendo así 3 hasta el punto de llevar los estudios al espacio exterior, que en 1993 se realizó la mejor captura de la señal BCG y SCG (Sismocardiografía), en el espacio, en la misión Spacelab D-2 [4].

La onda obedece a la tercera ley de Newton, y es consecuencia del desplazamiento del cuerpo para mantener constante la posición del centro de masas, en oposición al desplazamiento de la sangre a través del sistema circulatorio.

En 2006 Mark Brink, Christopher H, desarrollaron un método en conjunto que rastrea los movimientos del cuerpo, la respiración y la acción del corazón de una persona en reposo o dormida en una cama, utilizando cuatro sensores de fuerza de alta resolución instalados debajo de los postes de la cama. El movimiento de retroceso del cuerpo en cada latido del corazón, conocido como efecto cardiobalístico, así como el levantamiento y descenso del tórax al respirar, provoca cambios muy pequeños del centro de gravedad de la cama y del sujeto [5].

En septiembre 2009 Alpo Varri, Jari Viik, Jari AK Hyttinen y A. Palmaki realizaron estudios balistocardiográficos donde demostraron y compararon la utilización de la película electromecánica (EMFi) y dos sensores de aceleración, ADXL202 y MXA2500U [6].

En 2011 se demuestra que la BCG y SCG son procedimientos mucho más sencillos para la captación del ciclo cardíaco de forma dinámica en la vida diaria común. En el mismo año se es

explicado por qué la SCG y BCG fueron abandonados por la comunidad médica alrededor de 15 años [4].

En 2013 se realizó un estudio de la medición de la señal Sismocardiográfica en personas de forma ambulante. Un año después se publica una forma nueva de estimación de la señal BCG "Optimization of heartbeat detection in fiber-optic unobtrusive measurements by using maximum a posteriori probability estimation". En 2014 se usa un Electromagnetic film (EMFi) colocado en el eje dorso-ventral en el tórax para la medición de las señales SCG del corazón [4].

Se ha visto que el fenómeno de la BCG tiene resultados más promisorios en la detección de afecciones cardíacas. La morfología de la señal tiene menos ruido que un Electrocardiograma (ECG) pudiendo identificar los eventos en el ciclo cardíaco. Cabe resaltar que actualmente (4 2021) no se encuentran en el mercado dispositivos biomédicos con estas características, por lo cual el desarrollo de un sistema capaz de captar, procesar y visualizar señales BCG tendría un gran impacto a nivel social y científico.

En el Centro de Neurociencias, Procesamiento de Imágenes y Señales (CENPIS) de la Facultad de Ingeniería en Telecomunicaciones, Informática y Biomédica de la Universidad de Oriente se procesan algunas de estas señales no invasivas de origen cardíaco, como el ECG, con el fin de determinar mediante la frecuencia cardíaca diversos parámetros, entre ellos la frecuencia cardíaca instantánea. Sin embargo, el uso de señales cardíacas no invasivas y de fácil adquisición como el BCG no ha sido implementado para determinar estos parámetros.

El presente trabajo pretende proponer un sistema de medición de las señales balistocardiográficas, el montaje correcto de sensor (MPU-9250), la captación y visualización de estas señales.

Se espera que el poder desarrollar un sistema para la captación y visualización de las señales BCG permita un estudio sobre los eventos cardíacos propios de la morfología de la onda BCG. Con expectativa que el estudio de los pacientes sea suficiente para identificar los puntos característicos de la onda.

los dispositivos a utilizar y la exposición de las características de él porque fueron seleccionados.

Luego de poseer la señal digital se entra en juego la segunda fase, el envío por el puerto serial 'COM' del Arduino al software Realterm, donde se guardan los datos procedentes del puerto COM en un archivo. Para luego ser visualizados en el Matlab.

Se necesita de una interfaz para la captación de estas señales provistas por el sensor MPU-9250, se decidió el uso de este dispositivo por ser un paquete integrado que cuenta con tres sensores triaxial (acelerómetro, magnetómetro y giroscopio). Luego de captar estas señales en la tarjeta de desarrollo Arduino con el tiempo de muestreo requerido, son enviadas por el puerto serie al Realterm y almacenadas en un archivo, para luego ser visualizadas en la herramienta computacional Matlab.

En la programación del Arduino se especifica el tiempo de muestreo de la señal, ya que esta señal va a ser muestreada a 120 Hz. Tiempo de muestreo = $1/F_s$

Si la frecuencia de muestreo es $F_s = 120$ Hz, entonces:

Tiempo de muestreo = $1/120$ Hz = 0.0083 s

Tiempo de muestreo = 0.0083 s = 8.3 ms

Además, se tomó 120 Hz, porque la señal balistocardiográfica está comprendida entre 0.5 y 20 Hz y según el criterio de Nyquist, se debe tener una frecuencia de muestreo por lo menos del doble de la frecuencia máxima de la señal para evitar el efecto de aliasing, donde lo mínimo sería 40 Hz.

$f_s > 2f_m$

$f_m = 20$ Hz

$f_s > 2 \times 20$ Hz

$f_s > 40$ Hz

Donde f_m es la frecuencia máxima de entrada. Además, como se tiene de referencia la señal electrocardiográfica (ECG) que permite realizar diagnósticos sobre el estado de salud del corazón, se escogió una frecuencia de muestreo similar

II. MATERIALES Y METODOS

Este proyecto se encuentra dividido en fases, la primera donde se escogió la correcta selección de

para hacer una pequeña comparación entre las ondas.

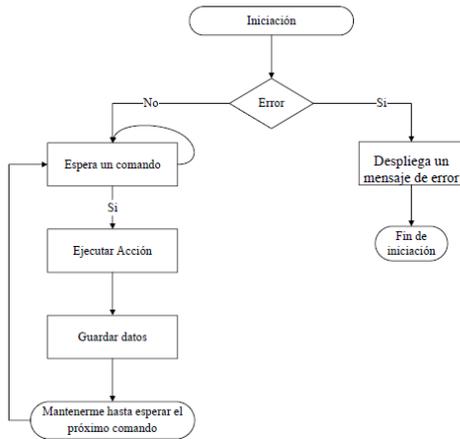


Figura 1. Diagrama de flujo de la programación realizada en Arduino.

Para complementar este diagrama de flujo del código del programa es necesario hacer referencia a las partes del diagrama. Se comienza inicializando y configurando el Arduino, y el sensor MPU-9250 respectivamente:

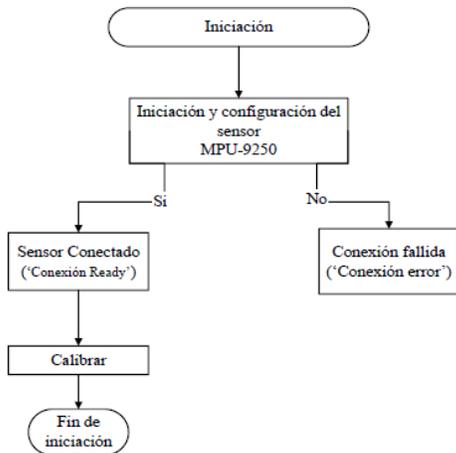


Figura 2. Diagrama de flujo en Arduino: Inicialización, primera parte.

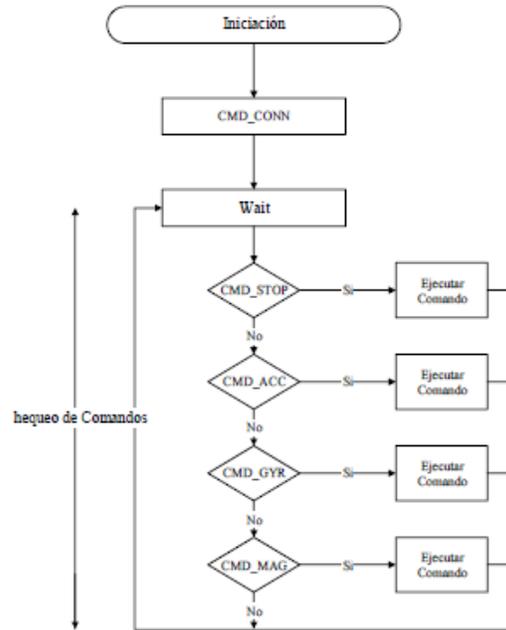


Figura 3. Diagrama de flujo de la programación en Arduino, segunda parte.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ya inicializada y configurada la placa de proyecto Arduino y el sensor MPU-9250 con sus respectivas calibraciones, se procede a la segunda parte. Donde se llama a la función lectura, se verifica si hay nuevo comando, se inicializa todo para un nuevo carácter. Luego se procede a la función conectar (`!mpu.setup(0x68)`), donde se chequea si la conexión es correcta o fallida. Si la conexión es correcta, se procede a la función CMD_WAIT (esperando un comando), si llega un comando se ejecuta la acción y se queda en el hasta que se proceda a otro comando, si a la función CMD_WAIT no llega ningún comando, se llama a la función lectura y se queda en espera.

El programa de terminal RealTerm es una aplicación de emulador que es popular entre los desarrolladores y probadores en serie. Puede mostrar y guardar datos en serie en archivos en múltiples formatos. Puede ver y registrar datos en formato ANSI, ASCII, binario, entero, hexadecimal y flotante. Las marcas de tiempo se

pueden insertar en archivos de registro en múltiples formatos para facilitar el análisis. Uno de los usos principales de esta utilidad de puerto serie es enviar flujos de datos que son difíciles de escribir manualmente, como los de transmisión binaria.

El software RealTerm se utiliza en este sistema para guardar los datos procedentes del puerto COM en un archivo CSV (valores separados por comas) con extensión .txt.

El RealTerm es un terminal serie, una vez que el Arduino este transmitiendo datos al puerto serie, se va a la pestaña 'Capturar', para guardar la información, además de permitir escoger al usuario el tiempo de captura deseado [15]

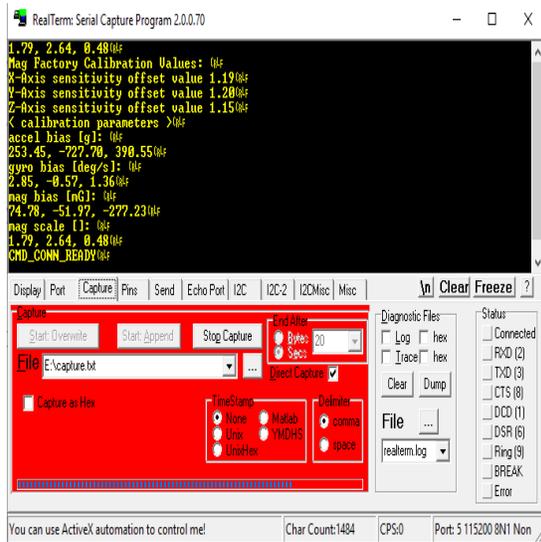


Figura 4. Captación de las señales, conformación de las bases de datos.

Para comprobar que todo el sistema realizado fuera exitoso, en el puerto serie del software RealTerm se escriben por separados cada uno los comandos antes expuestos (CMD_ACC, CMD_GYR, CMD_MAG, CMD_STOP). 39

Para capturar las señales del acelerómetro (CMD_ACC) se movió el sensor con la mano sucesivamente en sus tres ejes x, y, y z durante al menos 5 s en cada eje, toda esta captura fue realizada en un tiempo determinado, 18 s. Los resultados se muestran en la figura 30.

Para la captura de las señales del giroscopio (CMD_GYR), se realizó todos los pasos mencionados con anterioridad, pero con un tiempo de captura de 30 s. Los resultados se muestran en la figura 31.

Estas señales fueron guardadas en dos archivos de texto (con extensión .txt).

Lectura del archivo .txt y visualización de las señales en Matlab.

El objetivo de este paso es imprimir los datos (mediciones) que contienen los archivos .txt. Para realizar este algoritmo se utiliza Matlab, donde primero es necesario la lectura de estos archivos, definir la frecuencia de muestreo a la que van a ser muestreadas las señales (120 Hz) y por ende el tiempo de muestreo. Finalizando con la visualización de las señales en forma de figuras como se muestran en la figura 6 y figura 7.

```
[filename, pathname] = uigetfile('*.txt', 'Leer archivo');
ficherotxt = strcat(pathname, filename); %Une en una sola cadena la
                                         %ruta y el nombre del fichero

dato=dlmread(ficherotxt);
x=dato(:,1); %Columna x
y=dato(:,2); %Columna y
z=dato(:,3); %Columna z
N=length(x);
Fs=125; % Frecuencia de muestreo
t=[1:N]/Fs; % Vector tiempo
figure
subplot 311;
plot(t,x); title('Señales'); ylabel('x')
subplot 312
plot(t,y); ylabel('y')
subplot 313;
plot(t,z); ylabel('z')
xlabel('Tiempo(s)')
```

Figura 5. Código elaborado en Matlab

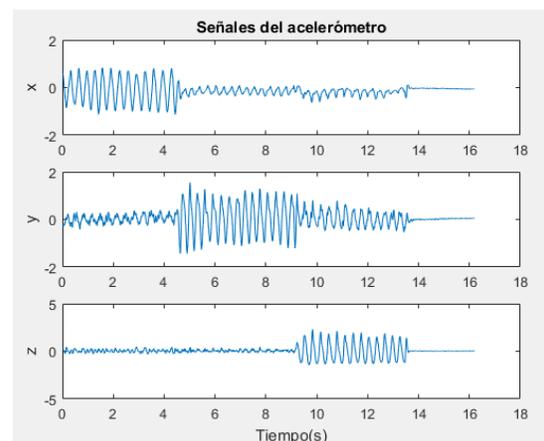


Figura 6. Señales de los tres ejes del acelerómetro.

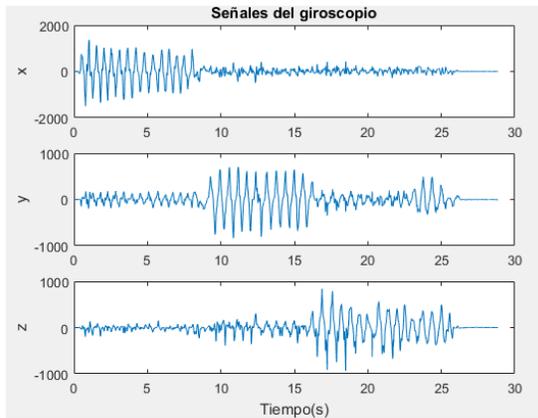


Figura 7. Señales de los tres ejes del giroscopio.

IV. CONCLUSIONES

Se diseñó un sistema para adquirir señales de aceleración y velocidad angular con el dispositivo MPU-9250 y el sistema de desarrollo basado en la arquitectura Arduino. El mismo fue realizado con todo el cuidado para ser implementado en la captación de señales BCG, permitiendo registrar los movimientos del cuerpo debido al latido cardíaco y al flujo de sangre por las principales arterias.

Se implementó el diseño y se probó su funcionamiento con movimientos del sensor hechos con la mano durante al menos 5 s en cada eje x, y, y z.

Se comprobó la adquisición de las señales en una computadora portátil utilizando un programa de comunicación RealTerm disponible en Internet. Las señales adquiridas fueron guardadas en archivos .txt para ser visualizadas en la herramienta computacional Matlab.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Hernández Hurtado, Zuley Camila; Díaz Álvarez, Vivian Paola. *Medición no-invasiva e indirecta de la frecuencia cardíaca de pacientes usando sensores de bajo costo. Trabajo de diploma. Universidad del Rosario; Bogotá, Colombia; 2021.*
 [2]. Barón, Alberto. *Balístocardiógrafo: historia de un instrumento para medir en forma indirecta el desempeño del corazón. Rev Colomb Cardiol. febrero de 2009; Vol. 16 No.1.*
 [3]. Hernández Urrea, Marc. *Implementación y caracterización de un sistema inalámbrico para la medida de parámetros fisiológicos de manera no invasiva. Trabajo de diploma al grado en Ingeniería*

de Sistemas de Telecomunicaciones. Universidad Politécnica de Catalunya; 2016.

[4]. Zuluaga Gómez, Juan Pablo. *Desarrollo de un sistema basado en acelerometría para la captación y análisis en Matlab de señales precordiales usando Sismocardiografía. Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Mecatrónica; Universidad Autónoma del Caribe; Barranquilla; 2015.*

[5]. Brink, Mark; Müller Christopher. *Contact-free measurement of heart rate, respiration rate, and body movements during sleep. Behavior Research Methods, 2006, 38 (3), 511-521.*

[6.] Varri, Alpo; Viik, Jari; Hyttinen, Jari. *Estudios balístocardiográficos con sensores de aceleración y película electromecánica. 2009. Disponible en:*

https://www.researchgate.net/publication/26773049

[7] Ortega Delfino, Yoangel. *Determinación aproximada de la frecuencia cardíaca en el Balístocardiograma. Tesis en opción al título de Ingeniero Biomédico. Universidad de Oriente; Santiago de Cuba; 2019.*

[8]. Sadek, Ibrahim; Biswas, Jit; Abdulrazak, Bessam. *Ballistocardiogram signal processing: a review. Health Inf Sci Syst, Vol. 7 No. 10, 2019; Disponible en: https://doi.org/10.1007/s13755-019-0071-7*

[9]. Banzi, Massimo. *Manual de Programación. 2007. Disponible en: http://www.arduino.cc/en/Booklet/HomePage 44*

[10]. Herrera Mata, Stephany Elizabeth. *Diseño electrónico de un sistema de estimación de orientación basado en sensores inerciales como aplicación en rehabilitación motriz. Tesis para obtener el título de Ingeniero Eléctrico Electrónico. Universidad Nacional Autónoma de México; 2017.*

[11]. Atmega328. *Wikipedia. 2021. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Atmega328&oldid=136603139*

[12]. *Libro básico de Arduino. Bogotá, Colombia; 2012. Disponible en: www.tiendaderobotica.com*

[13]. *MPU-9250 Product Specification Revision 1.1. 2016. Disponible en: www.invensense.com*

[14]. Abascal Falagan, Cecilia. *Sistema de posicionamiento y localización de un Robot Autónomo en superficies exteriores. Tesis para acceder al título de graduada en Ingeniería Eléctrica Industrial y Automática. Universidad de Cantabria; 2021.*

[15] *L, Albert. Arduino, data visualization. How to plot data from the Arduino COM Serial Port. 2020.*