

## SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y TRATAMIENTO DIGITAL DE LAS DOCE DERIVACIONES CARDIACAS DEL ELECTROCARDIOGRAMA

### ELECTROCARDIOGRAM CARDIAC TWELVE LEADS DIGITAL SYSTEM ACQUISITION AND TREATMENT

Univ. Andres Hernán Camacho Crespo (1)  
 Ing. Ariel Quezada Castro (2)  
 Ing. Isabel Angelica Morales Ledezma (3)

#### RESUMEN

La electrofisiología estudia las propiedades eléctricas de las células y tejidos biológicos, nos permite obtener los cambios de voltaje o corriente de los diferentes tejidos del cuerpo. Gracias a esta ciencia podemos diseñar sistemas que nos permitan cuantificar estos valores para poder analizarlos.

El presente artículo trata sobre el diseño y la implementación de un sistema que es capaz de realizar la adquisición y tratamiento de las doce señales del electrocardiograma (ECG). La primera etapa se encarga de convertir y enviar las señales de electrocardiografía a un software, el cual es encargado de tratar la señal mediante filtros digitales (filtro de línea, Butterworth), con el objetivo de obtener una señal pura y confiable.

Es importante tener en cuenta los pasos a seguir para realizar la aplicación de filtros digitales con el lenguaje de programación Python. Este lenguaje de programación es base para el desarrollo de la interfaz gráfica de usuario donde se visualizan las señales de las doce derivaciones obtenidas del sistema microcontrolado.

Se gestiona asimismo, una base de datos para la evaluación en el tiempo de la información que se almacena durante una prueba. Las pruebas se realizaron con un generador de señales de electrocardiografía, calibrado y certificado para estas aplicaciones.

**Palabras clave:** Doce derivaciones. Filtros digitales. Python.

#### ABSTRACT

Electrophysiology studies the electrical properties of biological cells and tissues, it allows us to obtain changes in voltage or current of the different tissues of the body. With this knowledge we can design systems that allow us to quantify these values to be analyzed.

This article deals with the design and implementation of a system that is capable of performing the acquisition and processing of the twelve signs of the electrocardiogram (ECG). The first stage is responsible for converting and sending signals to a software electrocardiography, which is responsible for processing the signal using digital filters (line, Butterworth), with the aim of obtaining a pure and reliable signal.

It is important to consider the next steps for the implementation of digital filters with the Python programming language. This programming language is the basis for the development of graphical user interface where signals obtained from all twelve leads displayed on the microcontrolled system.

It also manages a database for evaluation at the time the information is stored during a test. The tests were performed with a signal generator electrocardiography, calibrated and certified for these applications.

Keywords: Twelve leads .Digital filters. Python.

## INTRODUCCIÓN

Para un diagnóstico clínico completo o específico de un paciente, se debe considerar todos los análisis de parámetros fisiológicos, entre ellos, el electrocardiograma (1). Para esto es indispensable contar con equipos asequibles que proporcionen información fiable, eficaz y eficiente. El electrocardiógrafo es un equipo que entrega una representación gráfica de la actividad eléctrica del corazón, denominado electrocardiograma. Este estudio por las características y la fuerza diagnóstica que representa, es muy importante al momento de realizar el control o monitoreo de la actividad cardiaca de un paciente, ya que permite discernir sobre posibles patologías o anomalías del corazón.

Normalmente, las señales que se obtienen del cuerpo se encuentran contaminadas por ruido procedente de diversas fuentes. El ruido funciona como una señal adicional que se suma a la señal original (2). Actualmente, existen muchos sistemas que utilizan un filtrado analógico para la obtención de la señal electrocardiografía; si bien estos diseños presentan un buen desempeño, llegan a ser de tamaño considerable debido a la cantidad de etapas analógicas de filtrado.

La implementación de filtros digitales busca reducir el tamaño de los equipos y mejorar la confiabilidad de los mismos, debido a que los filtros digitales no son susceptibles a variaciones ambientales como la temperatura, presión, etc. Estos factores llegan a afectar a los elementos electrónicos utilizados en los filtros analógicos, alterando sus valores. Es así que el presente estudio busca realizar un filtrado digital que no sea afectado por factores externos; que presente una buena respuesta de la señal con el fin de obtener buenos diagnósticos en cualquier momento.

## MATERIALES Y METODOS

### 1. Diseño de hardware

Para la adquisición de las doce derivaciones de un electrocardiograma se utiliza el amplificador operacional de instrumentación AD620 y su circuito de adquisición de señal de ECG con una ganancia de 991, colocando una resistencia de 49,90 entre el pin 1 y 8 del mismo tal como indica su hoja de datos (3).

Al circuito de adquisición, por las características de la señal, se agrega un elevador de voltaje; para no ingresar señales negativas al conversor analógico digital, ya que estas pueden dañarlo. Entonces, se

implementa un buffer con un amplificador diferencial, que entrega un voltaje fijo y lo más estable posible. Previo a la adquisición de la señal, un sistema de multiplexación permite la selección de diferentes derivaciones y se direcciona la señal deseada por el usuario a la etapa de adquisición de señales. En la etapa de multiplexación se utiliza el integrado 74HC4051 (4).

Se utilizarán dos 74HC4051 controlados por un microcontrolador que interactúa con el usuario a través de un teclado y una pantalla LCD para la selección de las doce derivaciones. Los multiplexadores se conectan a la terminal central de Wilson y se obtienen las derivaciones precordiales, a partir de la conexión de cada extremidad a través de una resistencia del mismo valor a un mismo punto, este punto se denomina terminal central de Wilson.

La etapa de digitalización se realiza con el microcontrolador ATMEGA328 integrado con Arduino Uno, plataforma de hardware libre y un conversor analógico digital de 10 bits (5). La programación, se escribe a nivel de sus registros para que trabaje de forma más rápida; es programado para que realice la conversión de una señal analógica a un valor digital y que transmita estos datos serialmente a la computadora. Sin embargo, para que este gane velocidad y tiempo, se debe sacrificar la resolución, razón por la que se trabaja con una resolución de 8 bits.

### 2. Diseño de software

El diseño de la interfaz gráfica de usuario, utiliza el lenguaje de programación Python, el cual es un lenguaje interpretado, de alto nivel y orientado a objetos, lo cual lo hace un lenguaje flexible y poderoso. Éste cuenta con un repertorio muy amplio de librerías de acuerdo a las necesidades del usuario. Wxpython, contiene herramientas multiplataforma para la creación de aplicaciones de escritorio GUI y matplotlib, la cual es una librería especializada para realizar gráficos de todo tipo (6). La interfaz gráfica se conecta al sistema microcontrolado y recibe la señal digital para almacenar la misma en archivos con extensión .txt. Así, se tiene la señal en cualquier momento.

Las librerías de Numpy y Scipy, permiten manipular arreglos o vectores, así como matrices con gran cantidad de datos, permiten aplicar regresiones, funciones matemáticas especiales, rutinas de procesamiento de imágenes, entre otros (6). Para la aplicación de filtros digitales, se usa una función de la librería de Scipy llamada "filtfiltQ", la que permite aplicar un filtro de ida y vuelta sobre una función; esta función debe de

obtener los parámetros necesarios para trabajar con la función "iirfilter0" que devuelve la función de transferencia del filtro a aplicar, en este caso un rechazabanda de 50 Hz.

La función que permite obtener la función de transferencia tiene múltiples parámetros, en este caso se trabaja con los siguientes: iirfilter (orden del filtro, arreglo, en filtros digitales se tiene valores entre 1 y 0), el filtro que se desea aplicar, definir si el filtro es análogo o digital, tipo de filtro). Se obtiene la función:

$$b, a = \text{iirfilter}(2, [w1, w2], \text{btype} = 'stop', \text{analog} = \text{false}, \text{ftype} = 'butter')$$

Como se observa, se utiliza un filtro de Segundo orden, rechazabanda del tipo butterworth e indicamos que es un filtro digital con el comando analog=false.

El cálculo de los valores del arreglo [w1, w2], las frecuencias de corte; se utiliza la siguiente fórmula:

$$((\text{Frecuencia de corte}/(\text{frecuencia de muestreo}/2,0)) \pm \text{Ancho de banda})$$

Esta fórmula entrega los valores de w1 y w2, relacionando los valores de la frecuencia de corte, la frecuencia de muestreo y el ancho de banda del filtro. La frecuencia de corte aplicada es de 50Hz y la frecuen-

cia de muestreo es de 5000Hz. El ancho de banda del filtro se muestra con un valor de ±, por el límite inferior y el límite superior, al aplicar la fórmula para obtener los valores de w1 y w2 se tiene el siguiente arreglo:

$$[w1, w2] = [((50/(5000/2,0)) - 0,01599), ((50/(5000/2,0)) + 0,019777)]$$

Las variables b y a almacenan la función de transferencia devuelta por la función, estas variables son utilizadas en la función filtfiltQ.

La función que permite obtener la señal filtrada es la siguiente.

$$\text{Datos filtrados} = \text{filtfilt}(b, a, \text{señal obtenida})$$

Es importante mencionar que al aplicar la función filtfilt0 duplicamos el orden del filtro, debido a que aplicamos el filtro de ida y vuelta, es decir que el filtro aplicado se vuelve un filtro de cuarto orden.

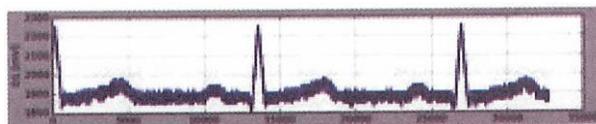
visualización del histograma de la señal, o diferentes aplicaciones según las necesidades requeridas.

La señal resultante se convierte a su equivalente en milivoltios antes de aplicar la función filtfilt. La obtención de las derivaciones aumentadas de Goldbelger se logra a partir de aproximaciones matemáticas realizadas mediante el programa. A la interfaz gráfica se le puede adicionar opciones como: base de datos,

## RESULTADOS

Todas las pruebas se realizaron con un simulador de pacientes marca Fluke, modelo MP450 con el certificado de calibración correspondiente. Se puede observar una de las señales resultantes del sistema en el sistema en la Figura N° 1, antes de la implementación de los filtros digitales. La figura muestra una gráfica que contiene 16362 datos.

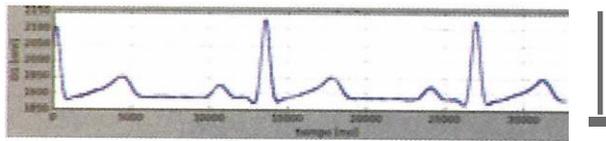
Figura N° 1. Señal obtenida



Fuente: Elaboración propia, 2015.

En la Figura N° 2 se observa la misma señal de la Figura N° 1 luego de aplicar el filtro digital de 50Hz.

**Figura N° 2. Señal filtrada**

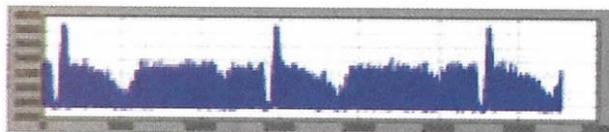


*Fuente: Elaboración propia, 2015*

Se logra visualizar una señal completa de la primera derivación electrocardiográfica y esta señal se encuentra almacenada en la computadora con una extensión .txt.

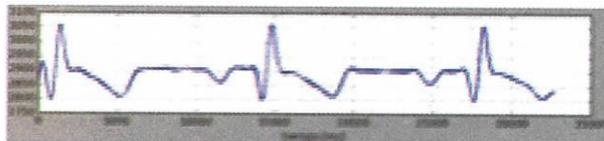
Resultados de las diferentes derivaciones obtenidas en las siguientes figuras:

**Figura N° 3. Señal de la derivación V3 obtenida**



*Fuente: Elaboración propia, 2015.*

**Figura 4. Señal de la derivación V3 filtrada**



*Fuente: Elaboración propia, 2015.*

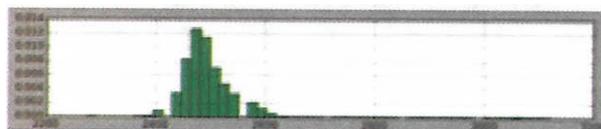
**Figura N° 5. Señal de la derivación VS filtrada**



*Fuente: Elaboración propia, 2015.*

Asimismo, se logra obtener un histograma de ambas señales (obtenida y filtrada), con el cual podemos verificar los componentes de las señales que más se repiten permitiendo realizar otro tipo de análisis.

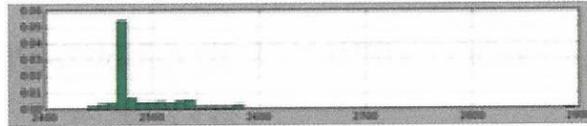
**Figura N° 6. Histograma de la señal obtenida**



*Fuente: Elaboración propia, 2015*

Se puede observar la diferencia que existe en los componentes tanto de la señal obtenida como de la señal filtrada que se muestra a continuación.

Figura N° 7. Histograma de la señal filtrada



Fuente: *Elaboración propia, 2015.*

Existe una mayor cantidad de componentes en la señal obtenida debido al ruido que ésta tiene y que una vez realizado el filtrado se logra eliminar una gran cantidad de componentes no deseados de la señal. Gracias al histograma se evalúa la eficiencia del filtro digital que se está aplicando, logrando observar que el mismo reduce los componentes de la señal obtenida dejando solo los componentes deseados en una señal de electrocardiografía.

Adicionalmente, se tiene una base de datos de pacientes y se relacionarla información del paciente: sus datos personales; el tipo de estudio que se va realizar y las señales obtenidas del mismo.

En futuros trabajos, se puede desarrollar programas para mandar estas señales electrocardiográficas a través de internet, incursionando en la telemedicina.

#### DISCUSIÓN

El sistema funciona de manera correcta y nos permite obtener las señales de las diferentes derivaciones con todos los parámetros que éstas tienen después de la aplicación de los filtros digitales. Se obtiene un buen resultado utilizando una resolución de 8 bits con una frecuencia de muestreo de 5K Hz aproximadamente. El sistema nos permite almacenar la señal obtenida del microcontrolador esto nos permite trabajar de muchas formas con la señal como la aplicación de filtros, la amplificación de la señal y cualquier tipo de operación matemática deseada.

La obtención de las derivaciones aumentadas de Goldberger mediante aproximaciones matemáticas utilizando este sistema no es recomendable debido a que para obtener estas señales se necesita obtener las señales utilizadas en los cálculos con una sincronía, es decir, al mismo tiempo lo cual no es posible con este sistema que obtiene las señales independientemente.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ARTHURC. GUYTON, M. -J. (1997). Tratado de fisiología medica. Mexico: Interamericana McGRAW-HILL.
- (2) PRESEDO, J. M. (n.d.). Retrieved from <http://www.usc.es/catedras/telemedicina/2005/materialAsignatura/AdquisicionSenalesBiologicas.pdf> (Fecha y hora de consulta: 25/10/15 20:35).
- (3) ANALOG DEVICES- low cost power instrumentation amplifier AD620 <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD620.pdf> (Fecha y hora de consulta: 25/10/15 20:35).
- (4) NXP SEMICONDUCTORS- 74HC4051 ; 74HCT4051 [http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/74HC\\_HCT4051.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/74HC_HCT4051.pdf) (Fecha y hora de consulta: 25/10/15 20:35).
- (5) ARDUINO. (n.d.). Retrieved from [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc) (Fecha y hora de consulta: 25/10/15 20:35).
- (6) PYTHON. (n.d.). Retrieved from [www.python.org](http://www.python.org) (Fecha y hora de consulta: 25/10/15 20:35).

**Fuentes de financiamiento:** Esta investigación fue financiada con fondos de los autores. **Declaración de conflicto de intereses:** Los autores declaran que no tiene ningún conflicto de interés.

Copyright (c) 2016 Andres Hernán Camacho Crespo; Ariel Quezada Castro; Isabel Angelica Morales Ledezma



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

**Atribución:** Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumendelicencia](#) - [Textocompletodelalicencia](#)