

# SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN ONLINE USANDO REDES NEURONALES DIFERENCIALES

Héctor García Estrada<sup>a</sup>, Karen J. Mendoza Bautista, Ángelo Pastrana Manzanero<sup>b</sup>,  
María G. Ramírez Sotelo<sup>d</sup>, Agustín I. Cabrera Llanos<sup>c</sup>.

Departamento de Bioprocesos, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del  
Instituto Politécnico Nacional, México, CDMX.

<sup>a</sup> [hgarciaestrada@unm.edu](mailto:hgarciaestrada@unm.edu), <sup>b</sup> [apastranam1609@alumno.ipn.mx](mailto:apastranam1609@alumno.ipn.mx)  
<sup>c</sup> [acabrerall@ipn.mx](mailto:acabrerall@ipn.mx), <sup>d</sup> [mgramirez@ipn.mx](mailto:mgramirez@ipn.mx)

## RESUMEN

En el presente trabajo, se muestra el desarrollo de un electrocardiograma de 12 derivaciones, con un identificador basado en una red neuronal diferencial. Para el electrocardiograma de 12 derivaciones se adquirieron 8 derivaciones utilizando amplificadores de instrumentación, mientras que las derivaciones restantes son calculadas, dichas son adquiridas mediante los canales diferenciales de la tarjeta USB DAQ-6009. Posteriormente, estas señales se filtran y procesan utilizando el programa "DONNSI", la derivación seleccionada en la interfaz gráfica será la que se despliegue para su visualización y a la vez será utilizada para su identificación mediante una red neuronal diferencial desarrollada en LabVIEW, adquiriendo resultados en tiempo real y teniendo errores de aproximación menores al 2%, presentes en las gráficas obtenidas de: la señal seleccionada, la red neuronal y la dinámica del error.

**Palabras clave:** Redes Neuronales Diferenciales (RND), Electrocardiograma, LabVIEW.

## ABSTRACT

In the present work, the development of a 12-lead electrocardiograph is shown, with an identifier based on a differential neural network. For the 12-lead electrocardiograph, 8 leads were acquired using instrumentation amplifiers, while the remaining leads are calculated, these are acquired through the differential channels of the USB DAQ-6009 card. Afterwards, these are filtered and processed using the "DONNSI" program, the derivation selected in the graphical interface will be the one that is displayed for its visualization and at the same time it will be used for its identification through a differential neural network developed in LabVIEW, acquiring results in real time and having approximation errors of less than 2%, present in the graphs obtained from: the selected signal, the neural network and the error dynamics.

**Keywords:** Dynamic Neural Networks (DNN), Electrocardiogram, LabVIEW.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de este sistema se considera el uso de un electrocardiograma (ECG), el cual permite realizar un estudio del corazón, esta señal es adquirida en tiempo real, y da la pauta para iniciar una red neuronal capaz de seguirla. Se realiza la adquisición de la señal mediante una tarjeta USB DAQ-6009, esta adquisición es la entrada a la red neuronal diseñada y programada mediante la plataforma de LabVIEW con la finalidad de visualizar el seguimiento de la misma red a la señal biológica especificada.

### A. Electrocardiograma

El electrocardiógrafo es un dispositivo eléctrico que captura los potenciales eléctricos del corazón al registrar el voltaje que genera y transmite a través del cuerpo por medio de un sistema de electrodos, cables y una consola de grabación. Estos electrodos colocados en partes específicas del cuerpo son responsables de detectar las despolarizaciones cardíacas. El electrocardiograma estándar consta de 12 derivaciones, que se pueden dividir en:

- Monopolares (aVR, aVL, aVF, V1 a V6)
- Bipolares (DI, DII y DIII)

Las derivaciones monopulares aVR, aVL y aVF, surgieron en 1942, cuando Goldberger observó que las señales de Wilson podrían aumentar si se tomaba el promedio de los otros puntos involucrados. Por otro lado, las derivaciones de V1 a V6 completan la información necesaria para estudiar el corazón en los lados que proporcionan información sobre cómo ocurre la despolarización cardíaca con respecto a la parte anterior y posterior.

Las derivaciones bipolares constituyen un circuito cerrado y cumplen con una ley llamada Einthoven, la cual enuncia que la derivación 2 es directamente proporcional a la suma de las otras dos derivaciones bipolares ( $DII = DI + DIII$ ). Esta relación puede usarse también para verificar la colocación correcta de los cables del equipo<sup>1</sup>.

### B. Red neuronal diferencial

Una red neuronal diferencial (DNN, por sus siglas en inglés) es propuesta como un modelo estimador de estados de acuerdo con los principios descritos en 1986 por Rumelhart y McClelland, haciendo a la neurona artificial el principal elemento de la red, la cual se organizará en capas.

En la Figura 1, podemos observar del lado izquierdo la analogía entre una neurona biológica y una neurona artificial, mientras que del lado derecho la estructura de una red neuronal.

---

<sup>1</sup> Rodríguez Martínez M. A., (2012). Electrocardiografía Clínica Básica. Departamento de Integración de Ciencias Médicas. UNAM. Facultad de medicina.

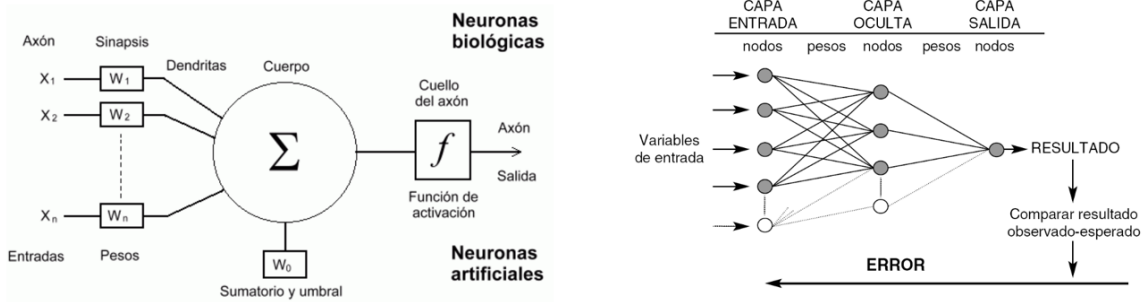


Figura 1. Neuronas artificiales y redes neuronales

La red neuronal diferencial está establecida por la siguiente ecuación<sup>2</sup>:

$$\hat{x}_t = A\hat{x}_t + W_{1,t}\sigma(\hat{x}_t) + W_{2,t}\phi(\hat{x}_t) u_t \quad (1)$$

Donde:

- $A$  es una matriz perteneciente a los reales de  $n \times m$ .
- $\hat{x}_t$  es el vector de estados de la red neuronal.
- $W_{1,t}$  y  $W_{2,t}$  son las matrices correspondientes a los pesos conectados entre capa y capa de la red.
- $u_t$  es la entrada del modelo.
- $\sigma(\hat{x}_t)$  y  $\phi(\hat{x}_t)$  son funciones sigmoideas dadas por las siguientes relaciones:

$$\sigma(\hat{x}_t) = \frac{a_1}{1 + e^{-a_2\hat{x}_t}} - a_3 \quad (2)$$

$$\phi(\hat{x}_t) = \frac{b_1}{1 + e^{-b_2\hat{x}_t}} - b_3 \quad (3)$$

Cabe resaltar que una red neuronal cuenta con sus correspondientes leyes de aprendizaje, las cuales son enunciadas a continuación:

$$\frac{dw_{1,t}}{dt} = -K_1 P \Delta t \sigma^T(\hat{x}_t) \quad (4)$$

$$\frac{dw_{2,t}}{dt} = -K_2 P \Delta t \phi^T(\hat{x}_t) u_t^T \quad (5)$$

$$\Delta t = x_t - \hat{x}_t \quad (6)$$

Donde  $K_1, K_2$  son constantes positivas,  $P$  es una matriz definida positiva y  $\Delta t$  la diferencia entre el vector de estados del sistema original y el vector de estados estimados de la red.

<sup>2</sup> Fonseca M., C. A. (2005). Independent Neuro-Fuzzy Control System. ELSEVIER, 237-242.

### C. LabVIEW

El software conocido como LabVIEW es un lenguaje gráfico de programación, utilizado como estándar en el desarrollo de aplicaciones de test y medida, control de instrumentación y sistemas de adquisición de datos. LabVIEW cuenta con un grupo de VI's exclusivos para la tarjeta USB-DAQ-6009, los cuales permiten configurar, adquirir o generar diversos tipos de señales y enviarlos a la tarjeta, sin importar si son datos analógicos o digitales.

### D. Ni USB DAQ-6009

La tarjeta NI USB DAQ-6009 es una tarjeta de adquisición de datos multifuncional, posee un alto rendimiento y alta velocidad de muestreo. Las especificaciones de la tarjeta y el soporte de proveedores externos hacen ideal su uso para un amplio rango de aplicaciones en nuestro caso el de la adquisición de datos, para la industria, laboratorios, control de procesos y automatización de sistemas en las fábricas. Dentro de sus características se encuentran sus entradas analógicas y digitales, las cuales usa empleando un convertidor de aproximaciones sucesivas<sup>3</sup>.

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

El proyecto se realizó en cuatro actividades diferentes: Adquisición de las señales, procesamiento de estas, cálculo de las derivaciones restantes y seguimiento de la red neuronal. A continuación, se describen cada una de estas actividades.

### A. Adquisición de las señales

Se realizó una amplificación con ganancia aproximada de 1000 a partir de la hoja de especificaciones del fabricante (ecuación 7). El amplificador de instrumentación debe cumplir con diversas características para el manejo adecuado de las señales, entre ellas están: CMRR alto, impedancia de entrada alta y baja impedancia a la salida, así como un bajo nivel de ruido. Para la adquisición de las señales se utilizó el amplificador de instrumentación AD620 con un arreglo en la resistencia de ganancia<sup>4</sup>.

$$G = 1 + \left( \frac{49.4k\Omega}{RG} \right) \quad (7)$$

El rango de frecuencias para un ECG en reposo va de 0.5 a 150Hz por lo que a cada una de las nueve derivaciones se le realizó un filtrado analógico de 120 Hz mediante un arreglo RC en la resistencia de ganancia del amplificador de instrumentación (Figura 2).

<sup>3</sup> National Instruments. (2004). Manuals. Retrieved from National Instruments: [www.ni.com/pdf/manuals/371303n.pdf](http://www.ni.com/pdf/manuals/371303n.pdf).

<sup>4</sup> Analog Devices. (2011). Low Cost Low Power AD620. Retrieved from Technical Documentation, Datasheets: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD620.pdf>

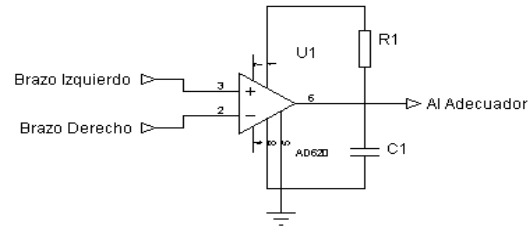


Figura 2. Circuito utilizado para adquisición de ECG

Este arreglo modifico la ecuación 7 como se muestra en la ecuación 8. Provocando que el amplificador también actué como un filtro pasa banda, ya que cuando la frecuencia tienda a cero la ganancia será de 1, y cuando tienda a infinito la ganancia será aproximadamente de 2. Ambas ganancias al compararlas con la ganancia de diseño son despreciables<sup>5</sup>.

$$G(s) = 1 + \frac{49.4k\Omega Cs}{RGCs + 1} \quad (8)$$

Se construyeron 8 circuitos como este, para adquirir DI, DII, y las derivaciones precordiales.

## B. Digitalización y procesamiento de las señales

Para la digitalización de las señales se utilizó la tarjeta NI USB DAQ-6009. Utilizando sus 8 canales analógicos referenciados a tierra. Para facilitar el seguimiento de parte de la red neuronal y eliminar ruido de alta frecuencia, se configuraron las entradas con una frecuencia de muestro de 250 Hz (Figura 3).

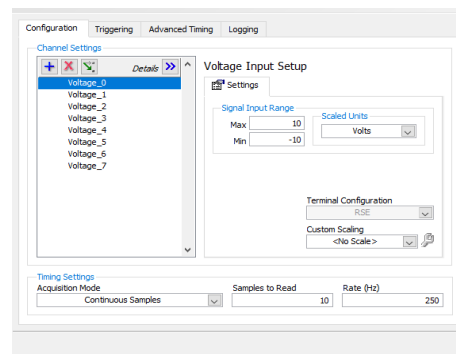


Figura 3. Configuración de la DAC

Las 8 señales son sometidas a un proceso de filtraje digital mediante filtros de respuesta infinita al impulso de cuarto orden: un pasa-altas a 0.5 Hz, un pasa-bajas a 120 Hz y un rechaza banda a 60 Hz.

<sup>5</sup> Carolina, I., Ruiz, A., García, H., Ramírez, G., & Cabrera, A. (2017). Electrocardiógrafo portátil con comunicación Wireless desarrollado en LabVIEW. CLADI 2017, Congreso Latinoamericano de Ingeniería.

### C. Calculo de las derivaciones

Con el fin de poder obtener las 12 derivaciones usando 8 canales analógicos se calculó DIII, aVR, aVL y aVF a partir de las lecturas de DI y DII. La derivación DIII se obtuvo siguiendo la relación entre las derivaciones bipolares obtenida a partir de la aplicación de la ley de voltajes de Kirchoff obteniendo la ecuación 9.

$$DIII = DII - DI \quad (9)$$

En lo que corresponde a las derivaciones aumentadas, también se le realizó el análisis de las conexiones para cada una de las derivaciones llegando a las ecuaciones 10, 11 y 12 <sup>6</sup>.

$$aVR = -(DI + DII)/2 \quad (10)$$

$$aVL = (DI - DIII)/2 \quad (11)$$

$$aVF = (DII + DIII)/2 \quad (12)$$

### D. Seguimiento de la red neuronal

Para el funcionamiento de la red neuronal se ocupó un selector, de esta manera, solo una de las 12 derivaciones entra a la red y es desplegada en el panel frontal del programa. La red neuronal fue programada a partir de las ecuaciones 1, 2, 3 y 4 utilizando el módulo “*Control and simulation*” dentro de un lazo de control, obteniendo datos de la entrada de la red (ECG directo), la salida estimada por la red y el error de la señal.

## 3. RESULTADOS

Se realizaron mediciones en un paciente aparentemente sano de 22 años, realizando la estimación de las derivaciones DI y DIII, observando los resultados mediante el panel frontal del programa desarrollado en LabVIEW (Figura 4).



Figura 4. Panel frontal del programa en funcionamiento

<sup>6</sup> Kligfield, P., Gettes, L. S., Bailey, J. J., Childers, R., Deal, B. J., Hancock, E. W., Mirvis, D. M. (2007). Recommendations for the Standardization and Interpretation of the Electrocardiogram. *Journal of the American College of Cardiology*, 1109-1127.

En el caso de la derivación uno se observa el correcto seguimiento de la señal adquirida y de la red neuronal diferencial (Figura 5).

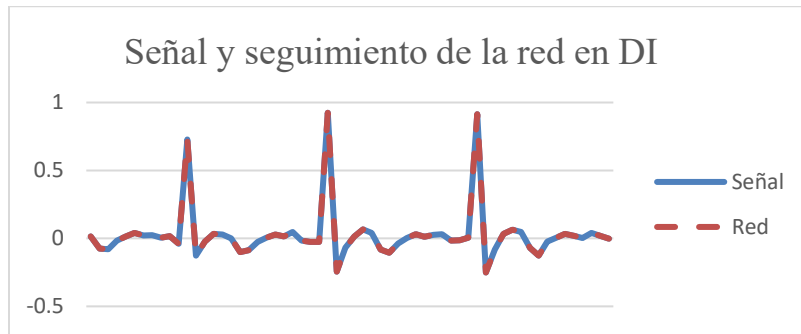


Figura 5. Gráfica de señal y red para DI

Lo anterior debido a que el error entre ambas señales es mínimo (Figura 6).



Figura 6. Error del seguimiento de DI

Por otra parte, en la derivación tres, de manera similar a la derivación uno, presento una aproximación entre la señal adquirida y su respectivo seguimiento (Figura 7).



Figura 7. Gráfica de señal y red para DIII

Siendo mínimo el error en la estimación de DIII (Figura 8).

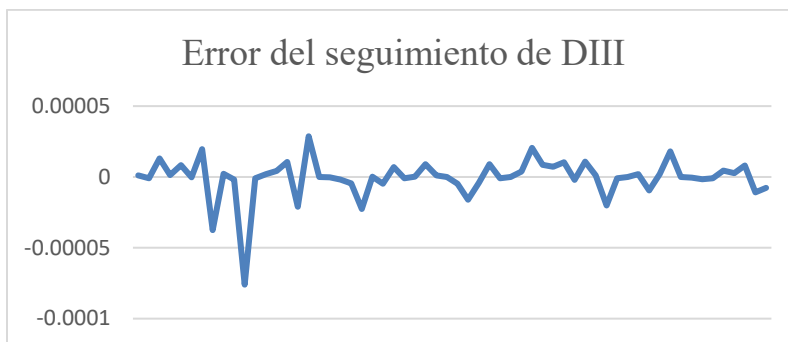


Figura 8. Error del seguimiento de DIII

#### 4. CONCLUSIONES

Se desarrollo un ECG de 12 derivaciones con seguimiento de una derivación por medio de una red neuronal diferencial en tiempo real mediante la tarjeta de adquisición USB DAQ-6009 y LabVIEW, logrando errores menores a  $\pm 0.0001$ . La reducción de la frecuencia de muestreo permitió a la red realizar el seguimiento del electrocardiograma en línea. La aplicación de esta red neuronal diferencial da pauta a la aplicación en otros biopotenciales. El trabajo de la red neuronal como seguidor en electrocardiograma abre el panorama para su aplicación como sistema estimador y/o predictor.

#### 5. REFERENCIAS

- [1] Analog Devices. (2011). Low Cost Low Power AD620. Retrieved from Technical Documentation, Datasheets: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD620.pdf>
- [2] Carolina, I., Ruiz, A., García, H., Ramírez, G., & Cabrera, A. (2017). Electrocardiógrafo portátil con comunicación Wireless desarrollado en LabVIEW. CLADI 2017, Congreso Latinoamericano de Ingeniería.
- [3] Fonseca M., C. A. (2005). Independent Neuro-Fuzzy Control System. ELSEVIER, 237-242.
- [4] Kligfield, P., Gettes, L. S., Bailey, J. J., Childers, R., Deal, B. J., Hancock, E. W, Mirvis, D. M. (2007). Recommendations for the Standardization and Interpretation of the Electrocardiogram. Journal of the American College of Cardiology, 1109-1127.
- [5] National Instruments. (2004). Manuals. Retrieved from National Instruments: [www.ni.com/pdf/manuals/371303n.pdf](http://www.ni.com/pdf/manuals/371303n.pdf).
- [6] Rodríguez Martínez M. A., (2012). Electrocardiografía Clínica Básica. Departamento de Integración de Ciencias Médicas. UNAM. Facultad de medicina. <http://paginas.facmed.unam.mx/deptos/icm/images/cecam/01.p.medicos/ELECTROCARDIOGRAFIA-CLINICA-BASICA.pdf>