

# IDENTIFICACIÓN DE PATOLOGÍAS CARDÍACAS MEDIANTE EL USO DE REDES NEURONALES DIFERENCIALES

Omar Alejandro Linares Escobar<sup>a</sup>, Héctor García Estrada<sup>a</sup>, Karen Jazmín Mendoza Bautista<sup>a</sup>, María Guadalupe Ramírez Sotelo<sup>b</sup>, Agustín Ignacio Cabrera Llanos<sup>a</sup>.

<sup>a</sup>Departamento de Bioprocesos, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, CDMX, México

[omar.ypj@gmail.com](mailto:omar.ypj@gmail.com)

<sup>b</sup>Departamento de Bioingeniería, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, CDMX, México

[acabrerall@ipn.mx](mailto:acabrerall@ipn.mx) [mgramirez@ipn.mx](mailto:mgramirez@ipn.mx)

## RESUMEN

Se presenta el desarrollo de una red neuronal diferencial (DNN) en LabVIEW aplicada a la identificación de señales cardiacas con diferentes patologías. El proyecto consta de tres etapas: generación de la señal, su adquisición y el procesamiento dentro de DNN. Para la generación, se emplea el Toolkit NI Biomedical de LabVIEW, el cual permite seleccionar diversas cardiopatías y la tarjeta DAQ NI USB-6211, permitiendo generar diferentes biopotenciales en tiempo real. Posteriormente se adquieren las señales mediante la tarjeta DAQ NI USB-6009 y son sometidas a la DNN, durante este proceso se observan tres gráficos: el de la señal adquirida de la patología seleccionada, el de la red y el del error diferencial entre ambos el cual es mínimo, concluyendo así, que la red realiza una identificación adecuada de los diversos biopotenciales.

**Palabras clave:** LabVIEW, DAQ, electrocardiograma.

## ABSTRACT

We present the development of a differential neural network (DNN) in LabVIEW applied to the identification of cardiac signals with different pathologies. The Project consists of three stages: generation of the signal, its acquisition and processing within DNN. For the generation, the LabVIEW NI Biomedical Toolkit is used, which allows to select various cardiopathies and the NI USB-6211 DAQ card, allowing the generation of different biopotentials in real time. Subsequently the signals are acquired by the DAQ NI USB-6009 card and are submitted to the DNN, during this process, three graphs are observed: the signal acquired from the selected pathology, the network and the differential error between both, which is minimal, thus concluding that the network performs an adequate identification of the different biopotentials.

**Keywords:** LabVIEW, DAQ, electrocardiogram.

## 1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se realiza el seguimiento de una DNN a distintas señales fisiológicas, las cuales son generadas y adquiridas gracias a las tarjetas NI-DAQ y visualizadas mediante la plataforma de programación LabVIEW.

### A. Cardiopatía

Se entiende por cardiopatía a la alteración del corazón y de sus grandes vasos que existen, problemas con su estructura y correcto funcionamiento. Existen muchos tipos de enfermedades cardíacas pero la causa más común es el estrechamiento o bloqueo de las arterias coronarias, los vasos sanguíneos que suministran sangre al propio corazón. A esto se le llama enfermedad de las arterias coronarias y se desarrolla lentamente con el transcurso del tiempo. Es la causa más importante por la cual las personas sufren infartos. Estas alteraciones son reflejadas en estudios completos de la señal de electrocardiograma.

### 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. J. Hopfield propuso el principio de funcionamiento de una red estable y recurrente, que consiste en un grupo de neuronas donde la salida de cada neurona sirve como retroalimentación en las entradas, a excepción de su propia entrada. Esta red surge de la teoría del control geométrico basada en la geometría diferencial<sup>1</sup>. El proceso de entrenamiento es un proceso iterativo en el que se aplican las señales de entrada y se calcula la salida; el proceso se repite hasta que la señal de salida es constante, que es cuando se dice que la red es estable.

### C. LABVIEW

El uso de la tarjeta DAQ NI USB-XXXX permite una facilidad de programación en el software LabVIEW el cual, 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 por medio de la generación de VI (Virtual Instrument). National Instruments ha ido desarrollando desde hace 5 años nuevas áreas estratégicas, relacionadas con nuevos campos de trabajo como Simulación, Diseño de Control, sistemas embebidos en tiempo real (FPGAs, DSPs, microprocesadores), algoritmos matemáticos avanzados, entre otras cosas. LabVIEW cuenta con una caja de herramientas exclusivas para la tarjeta DAQ, en la cual encontramos los bloques de adquisición o generación de las señales, ya sean de tipo analógicas o digitales.

---

<sup>1</sup> Matich D.,(2001), Redes Neuronales: Conceptos Básicos y Aplicaciones. 1ra Ed., Universidad Tecnológica Nacional: México.

## D. NI-DAQ 6211 Y NI-DAQ 6009

La tarjeta NI-USB-DAQ es una tarjeta de adquisición de datos multifuncional, posee 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 8 entradas analógicas y digitales ambas pueden configurarse como entradas o salidas por medio de software además posee 8 salidas digitales con 2 salidas analógicas utilizando un convertidor de aproximaciones sucesivas<sup>2</sup>.

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

El desarrollo del proyecto fue dividido en tres etapas diferentes: simulación y generación de señales, adquisición física y seguimiento de la red neuronal. A continuación, se describen cada uno de estos apartados.

### A. Simulación y generación de señales.

Para poder trabajar con distintas señales fisiológicas de interés sin la necesidad de elegir varios pacientes con estas patologías, se realizó la simulación de electrocardiogramas con alteraciones gracias al Toolkit NI Biomedical de LabVIEW, el cual cuenta con un bloque específico para la simulación de ECG como se muestra en la Fig. 1.

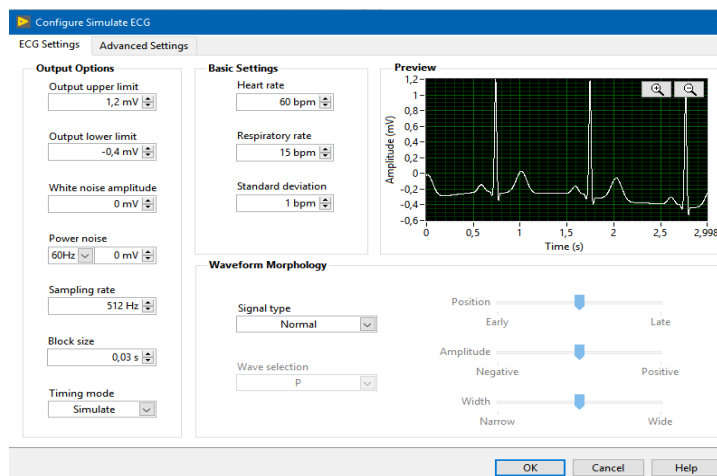


Figura 1. Configuración de simulación de ECG con el NI Biomedical Toolkit

En la Fig. 2. Se visualizan las señales que pueden ser simuladas, entre las cuales se eligieron las enfocadas en patologías cardíacas.

<sup>2</sup> National Instruments, (2018), "Daq asistant", recuperado de: <https://www.ni.com/data-acquisition/esa/> ; el 25/04/2018

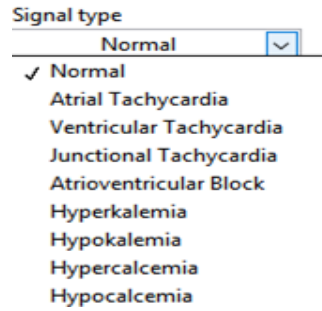


Figura 2. Señales cardiológicas posibles para simular

Posteriormente, se hizo la generación física de esta señal gracias a la tarjeta NI DAQ USB-6211 (Fig. 3) con la finalidad de que la adquisición sea de una señal real<sup>3</sup>.



Figura 3. NI DAQ USB-6211

## B. Adquisición física

Para realizar el seguimiento de cualquier señal física, se hizo la adquisición de la señal simulada gracias a la NI DAQ USB-6009, la cual puede ser configurada dentro del diagrama de bloques de LabVIEW (Fig. 4).



Figura 4. USB DAQ-6009

Para facilitar el monitoreo de parte de la red neuronal, se eliminó el ruido de alta frecuencia configurando las entradas con una frecuencia de muestreo de 250 Hz como se muestra en la Fig. 5.

<sup>3</sup> National Instruments. (27 de febrero de 2018). Manuales de Productos. Obtenido de National Instruments: <http://www.ni.com/pdf/manuals/376047c.pdf>

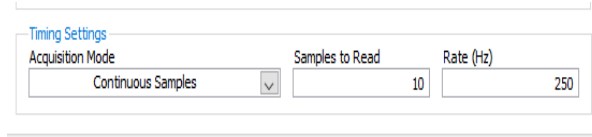


Figura 5. Configuración de DAQ-6009

### C. Seguimiento de la DNN

Para realizar el análisis de señales no lineales como es el caso de ECG, se implementó la DNN. En la Fig. 6, podemos observar del lado izquierdo la analogía entre una neurona biológica y una neurona artificial, mientras que del lado derecho observamos la estructura de la red neuronal.

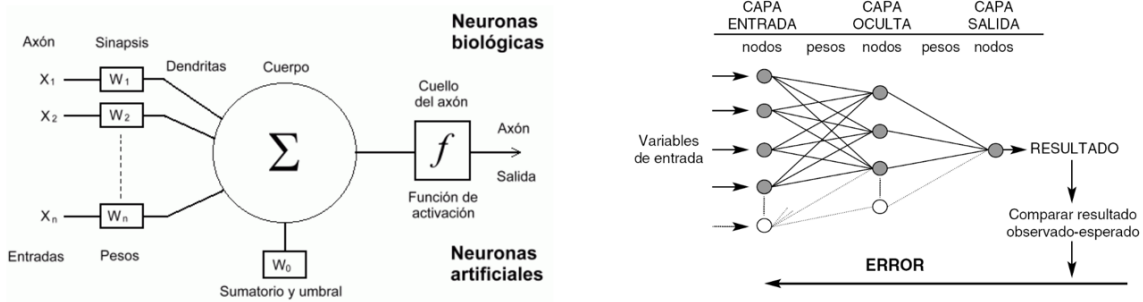


Figura 6. Neuronas artificiales y redes neuronales

La red neuronal diferencial está establecida por la siguiente ecuación:

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

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.

$W_{1,t}, W_{2,t}$  son las matrices correspondientes a los pesos conectados entre capa y capa de la DDN.

$u_t$  es la entrada.

$\sigma(\hat{x}_t)$  y  $\phi(\hat{x}_t)$  están dadas por:

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

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

Y  $\Delta t$  este dado por:

$$\Delta t = x_t - \hat{x}_t \tag{4}$$

Cabe resaltar que una red neuronal cuenta con leyes de aprendizaje, las cuales se describen como:

$$\frac{dw_{1,t}}{dt} = -K_1 P \Delta t \sigma^T(\hat{x}_t) \quad (5)$$

$$\frac{dw_{2,t}}{dt} = -K_2 P \Delta t \phi^T(\hat{x}_t) u_t^T \quad (6)$$

Donde  $K_1, K_2$  son constantes positivas por medio de las cuales se lleva a cabo el ajuste de los pesos y se deben seleccionar mediante el método de prueba y error.  $P$  es una matriz definida positiva que proporciona la solución de una ecuación algebraica de Riccati descrita por:

$$A^T P + P A + P R P + Q = 0 \quad (7)$$

Donde se requieren los siguientes hechos:

- Hay una matriz definida positiva  $Q_0$  tal que la ecuación de Riccati tiene una solución positiva  $P = P^T > 0$
- También se requiere que las matrices R y Q estén descritas por (8 y 9).

$$R = \Lambda_f^{-1} + W_{1,t}^* \Lambda_\sigma^{-1} (W_{1,t}^*)^T + W_{2,t}^* \Lambda_\phi^{-1} (W_{2,t}^*)^T + K_1 \Lambda_f^{-1} K_1^T + K_2 \Lambda_2^{-1} K_2^T + \Lambda_{\xi}^{-1} \quad (8)$$

$$Q = D_\sigma + v_0 D_\phi + \Lambda_f + Q_0 \quad (9)$$

### 3. RESULTADOS

Se realizó un panel frontal en LabVIEW con la intención de ver el comportamiento del seguimiento de la red neuronal y su visualización en el panel frontal de la señal de entrada, salida y la gráfica de la señal de error para la señal que se le fuera ingresada.

En la Fig. 7 se muestra el seguimiento de la red para una señal sinusal normal con un error menor al 0.001 por parte de la red.

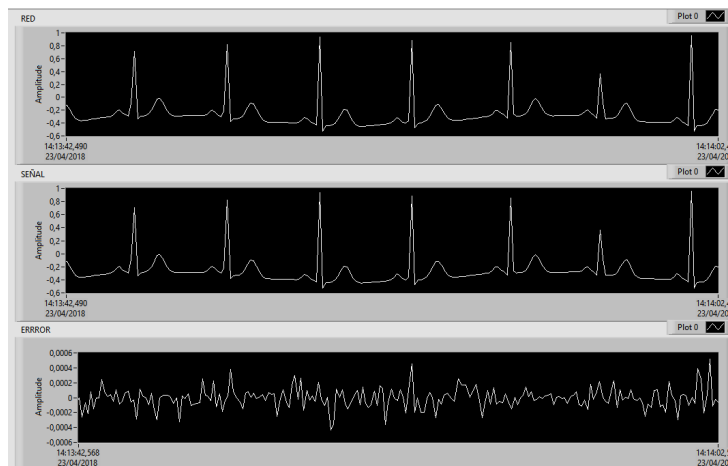


Figura 7. Panel frontal en funcionamiento para señal sinusal normal

Posteriormente se hicieron distintas mediciones para las patologías cardíacas simuladas con el *NI Biomedical Toolkit* (Fig. 8).

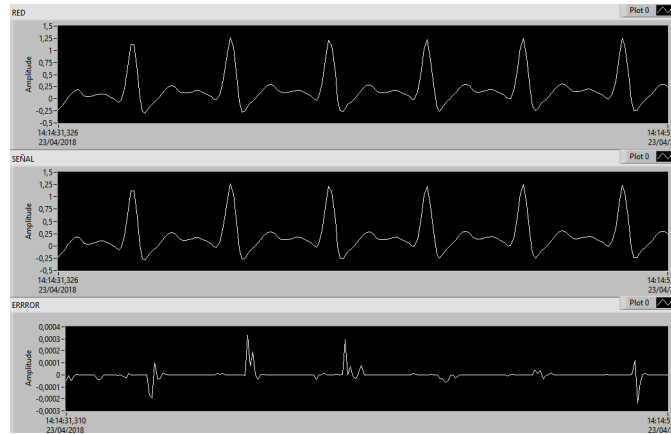


Figura 8. Seguimiento de Taquicardia Atrial

Se puede observar que, para el caso de Taquicardia Atrial, la DNN donde mayor trabajo tiene para minimizar el error es justamente en los cambios bruscos que se tiene en el complejo QRS (Fig. 9)

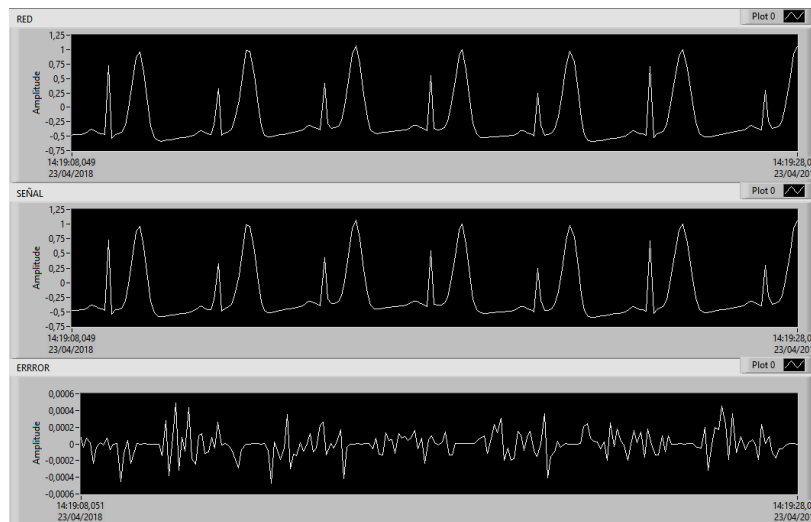


Figura 9. Seguimiento de Hipercalemia

La Hipercalemia produce un cambio repentino antes del complejo en la onda P, el cual es detectado en el seguimiento de la DNN (Fig. 10)<sup>4</sup>

<sup>4</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.

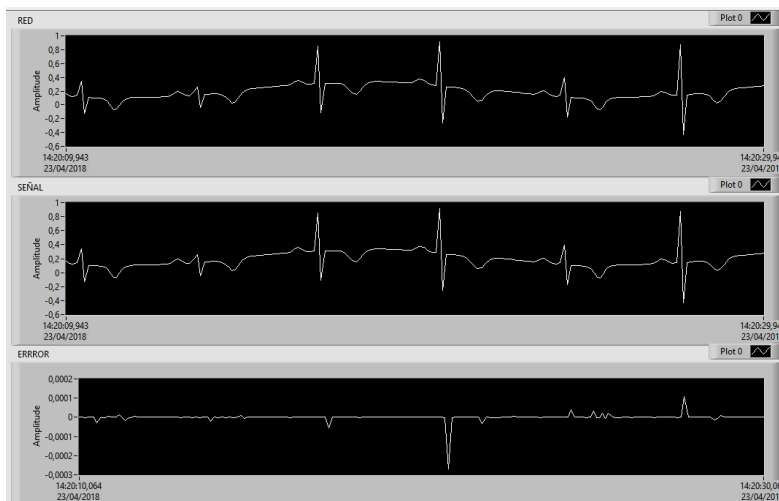


Figura 10. Seguimiento de Hipocalcemia

Al realizar estas distintas pruebas, se notó que, para un tipo de cardiopatía específica, le correspondía una gráfica del error característica, por lo cual se prosiguió a calcular el módulo de amplitud del error y la varianza de los datos tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos obtenidos de los errores de la DNN para distintas cardiopatías

Patología cardíaca	Amplitud del error	Varianza de datos
Taquicardia Atrial	0.00015886	2.09201E-08
Bloqueo Atrioventricular	0.00024701	1.9186E-08
Hipercalcemia	0.00020235	1.67782E-08
Hpercalemia	0.00023829	2.95814E-081
Hipocalcemia	0.00014058	1.90542E-08
Hipocalcemia	0.00022271	1.8611E-08
Taquicardia Juncional	0.00021965	1.8063E-08
Sinusal Normal	0.00021647	1.56E-08
Taquicardia Ventricular	0.00021818	2.55907E-08

#### 4. CONCLUSIONES

Se implementó una red neuronal diferencial para el seguimiento de distintas señales fisiológicas, enfocándose en las electrocardiográficas. Se logró la comunicación de información entre NI USB 6009 y 6211 para la generación y adquisición respectivamente de la señal a trabajar. El algoritmo es capaz de seguir señales generadas con la simulación del entorno de LabVIEW con un error menor al 0.0005 entre la señal adquirida a la salida de la DNN. Este trabajo permite el paso a un proyecto a futuro en el que, a partir de un análisis por error correspondiente a la cardiopatía, se pueda realizar la identificación de ésta de manera automática.



## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Matich D., (2001), *Redes Neuronales: Conceptos Básicos y Aplicaciones*. 1ra Ed., Universidad Tecnológica Nacional: México.
- [2] National Instruments, (2018), “Daq assistant”, recuperado de: <https://www.ni.com/data-acquisition/esa/>; el 25/04/2018
- [3] National Instruments. (27 de febrero de 2018). *Manuales de Productos*. Obtenido de National Instruments: <http://www.ni.com/pdf/manuals/376047c.pdf>
- [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.