

# Caracterización de señales bioeléctricas mediante Transformada Wavelet

Carolina Jeanette Villaseñor Rodelas  
Facultad de Estudios Superiores  
Cuautitlán  
caro408@comunidad.unam.mx

**Resumen**— Dentro de este proyecto se llevó a cabo la caracterización de señales bioeléctricas, adquiridas de los músculos del brazo, mediante Transformada Wavelet y Lógica Difusa. Con estos métodos, se lograron clasificar tres señales bioeléctricas, correspondientes a tres movimientos del brazo humano, estas clasificaciones serán utilizadas como comandos de control para dirigir diferentes sistemas robotizados, tal como una prótesis médica.

**Palabras clave**—Transformada Wavelet, Lógica Difusa, Señales Bioeléctricas, Señales electromiográficas.

## I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de prótesis es importante para la gente que presenta alguna discapacidad, tal como la inmovilidad o la pérdida de un miembro, ya que según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) representan el 2.9% de la población mexicana. [1] Considerando lo anterior, se busca la generación de prótesis que sean fáciles de utilizar y que puedan ser adquiridas y utilizadas por cualquier persona dentro de cualquier sector poblacional. Para esto, proponemos la caracterización de señales bioeléctricas, es decir, señales que se generan dentro del cuerpo humano cuando las personas realizan cualquier movimiento, en esta forma, se genera un control de la prótesis natural. Basándonos en esta premisa, debemos garantizar una adecuada caracterización de las señales electromiográficas ya que su aplicación en sistema de control o en prótesis robóticas debe presentar el menor error posible, para así generar una naturalidad en su funcionalidad. Para llevar a cabo estas caracterizaciones, se eligió la Transformada Wavelet como método de selección de características de las señales mencionadas.

### A. Señales electromiográficas

Las señales electromiográficas (EMG) son las señales bioeléctricas producidas en la contracción o la relajación de los músculos. [2]

Estas señales se obtienen mediante dos métodos: [3]

- Método invasivo: en el cual se introduce un electrodo de agua directamente en el músculo que se desea analizar.
- Método no invasivo: en él, se implementan electrodos superficiales, los cuales se colocan sobre la piel en regiones específicas dependiendo del músculo del cual se desea conocer su actividad mioeléctrica.

Para realizar el análisis de señales EMG, se deben considerar los siguientes pasos:

- Acondicionamiento: se prepara a la señal para extraer de ella datos relevantes. [4]

- Selección de características: se extrae la información más relevante de la señal, de manera que nos permita distinguir entre los diferentes movimientos en estudio. Además, se espera que los datos obtenidos minimicen el error en la futura aplicación de estas señales. Existen varias técnicas para la selección de características, algunas se basan en el análisis temporal como el valor medio absoluto, los cruces por cero, etc.; y otras se basan en el análisis espectral como la Transformada de Fourier de Tiempo Corto y la Transformada Wavelet.
- Reconocimiento de patrones: a la información obtenida, de la selección de características, se aplica algoritmos otorgándole un significado. Usualmente se implementan, como técnicas de clasificación, las Redes Neuronales Artificiales, la Lógica Difusa y los sistemas Neuro-Fuzzy. [5]

### B. Transformada Wavelet

De forma general, en la Transformada Wavelet se descompone una señal en una versión escalada y desplazada de una señal Wavelet, también conocida como Wavelet Madre. [6] Una Wavelet es una forma de onda de duración limitada, con valor promedio cero. Las Wavelets suelen ser irregulares y asimétricas lo que les permiten adaptarse a la señal a analizar. [7] En la figura 1 se muestran algunas de las Wavelets más implementadas.

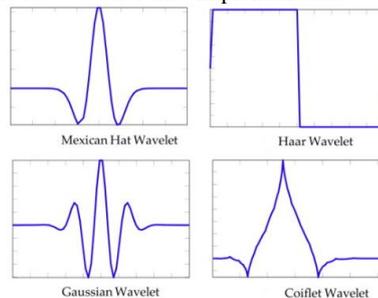


Fig. 1. Señales Wavelet más utilizadas.

Los dos parámetros indispensables en el análisis por Transformada Wavelets son el desplazamiento y el escalamiento. En el desplazamiento se recorre la señal de adelante hacia atrás en el tiempo. Mientras que el escalamiento se refiere al alargamiento y la compresión de la Wavelet. La señal obtenida dependerá tanto de la Wavelet madre como de estos parámetros.

Existen varios tipos de Transformada Wavelet, a continuación, presentaremos dos de ellas:

- Transformada Wavelet Continua – CWT: expresa una señal continua  $x(t)$  en una expansión de términos proporcionales al producto entre la señal

$x(t)$  y la versión escalada y desplazada de la Wavelet madre  $\psi(t)$  implementada [7]. La CWT presenta la forma:

$$CWT(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt$$

Donde  $a$  es el escalamiento y  $b$  es el desplazamiento. [6]

- Transformada Wavelet Discreta – DWT [7]: Se obtiene al discretizar los parámetros de escalamiento y de desplazamiento, usualmente otorgándoles los valores  $a = 2^{-j}$  y  $b = k2^{-j}$ . Sea  $f(t)$  una función discreta, su Transformada Wavelet estará dada por:

$$f(t) = \sum_k \sum_j c_{j,k} \phi(t) + \sum_k \sum_j d_{j,k} \psi(t)$$

## II. METODOLOGÍA

### A. Obtención de las señales

Implementando el sensor Myoware, se adquirieron las señales electromiográficas de tres movimientos de brazo definidos como abajo-arriba-abajo (aaa), medio-arriba (ma) y medio-arriba-abajo (maa). Las figuras 2, 3 y 4 muestran estas señales.

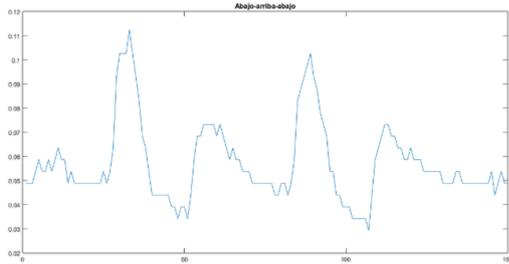


Fig 2. Señal EMG del movimiento abajo-arriba-abajo

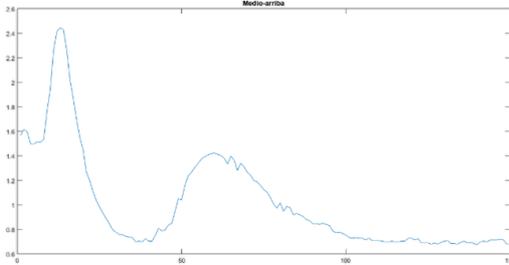


Fig 3. Señal EMG del movimiento medio-arriba

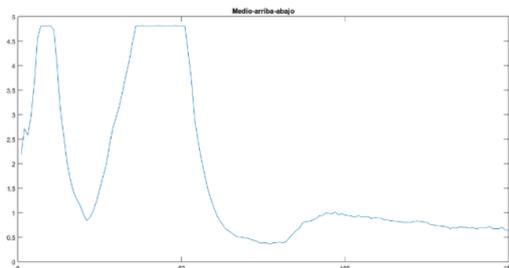


Fig 4. Señal EMG del movimiento medio-arriba-abajo

### B. Análisis promedio de Transformada Wavelet

Mediante el Toolbox Wavelet de Matlab, se llevó a cabo la caracterización de 30 señales EMG de cada uno de

los movimientos en estudio. Para realizar la caracterización de las señales mediante la Transformada Wavelet Discreta se utilizó la herramienta Wavelet 1-D que es parte del Toolbox mencionado. Se escogió como Wavelet madre la Symlets 4, presentada en la figura 5, y se eligió un nivel de descomposición tres.

En la elección de la Wavelet madre se siguieron dos pasos. El primero consistió en seleccionar varias Wavelets que presentaran similitud con las señales a analizar. Mientras que en el segundo se realizaron pruebas con las Wavelets, eligiendo así la que mostrara una mejor aproximación con las señales de estudio.

El resultado de aplicar la Transformada Wavelet Discreta a las señales de los brazos es la obtención de los coeficientes de aproximación y de detalle. Debido a que se eligió un nivel tres de descomposición, se obtuvieron los coeficientes de aproximación al nivel tres y de detalle en los tres niveles.

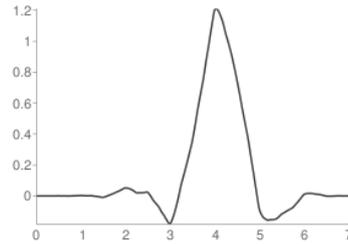


Fig 5. Wavelet tipo Symlets 4.

Se seleccionaron como vector de datos característico, para cada una de las señales en estudio, los coeficientes de aproximación al nivel tres. Con estos datos, se realizó un análisis estadístico en el cual se calculó el valor máximo, el valor mínimo, el promedio y la suma de cada uno de los vectores. Se observó que el promedio tenía un valor similar en las señales de un mismo movimiento. Esto se muestra en la tabla 1, en donde se reporta el valor promedio obtenido de los coeficientes de aproximación al nivel tres para cinco señales de cada movimiento.

TABLA I. Promedios obtenidos de los coeficientes de aproximación

Movimiento	aaa	ma	maa
Promedio	0.0542	0.9146	1.7375
	0.0569	0.9146	1.5771
	0.0572	0.9146	1.7366
	0.0526	0.9896	1.7366
	0.0535	0.9789	1.4033

Debido a la similitud del valor promedio de los coeficientes de aproximación para cada tipo de movimiento, este se considerará, posteriormente, como valor de entrada en el controlador difuso.

### C. Controlador Difuso

Implementando el toolbox Fuzzy Logic de Matlab, se creó un controlador difuso en el cual la variable difusa de entrada estará determinada, como ya se había mencionado, por los promedios de los coeficientes de aproximación. Por lo que, podemos decir que sus conjuntos difusos dependerán del movimiento que represente dicho promedio. A la variable de entrada se le aginará el nombre

de movimiento, tendrá un rango [0, 2.2] y presentará los siguientes conjuntos difusos:

- aaa, con una función de membresía tipo trapezoidal y límites [0, 0.9].
- ma, con una función de membresía tipo trapezoidal y límites [0.82, 1.37].
- maa, con una función de membresía tipo trapezoidal y límites [1.25, 2.2].

Por otro lado, la variable difusa de salida dependerá de los grados en los que gira un servomotor, este servomotor es meramente didáctico, sin embargo, este elemento de salida puede ser escalado a actuadores más complejos y precisos. Esta variable se denominará servomotor, tendrá un rango de [0, 180] y los siguientes conjuntos difusos:

- p1 (posición 1), con una función de membresía tipo trapezoidal y límites [0, 69].
- p2 (posición 2), con una función de membresía tipo triangular y límites [47, 135].
- p3 (posición 3), con una función de membresía tipo trapezoidal y límites [115, 180].

Las figura 6 y 7 muestran las variables de entrada y salida, respectivamente.

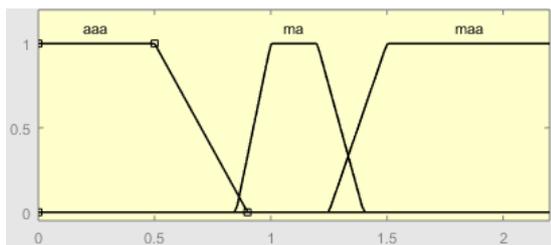


Fig 6. Variable difusa de entrada

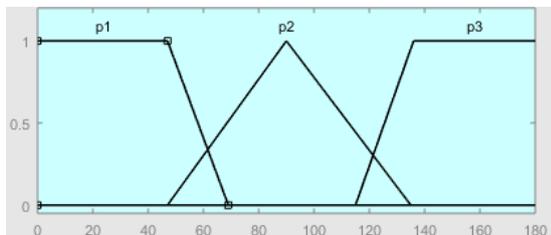


Fig 7. Variable difusa de salida

Las reglas difusas se declararon de la siguiente manera:

- Si el movimiento es aaa entonces el servomotor es p1.
- Si el movimiento es ma entonces el servomotor es p2.
- Si el movimiento es maa entonces el servomotor es p3.

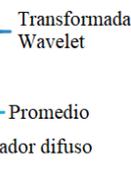
Por último, se eligió el método de inferencia de Mamdani debido a que tenemos un número reducido de variables. Además, para el método de agregación se seleccionó el de MAX y para la defuzificación se implementó el método del centroide.

D. Evaluación

Una vez que se realizó el análisis de las señales mediante la Transformada Wavelet y generó el controlador difuso, el siguiente paso es la evaluación de nuestro

sistema. Para realizar eso se implementó el siguiente código en el entorno de Matlab.

```
>> s;
[C,L] = wavedec(s,3,'sym4');
cA3 = appcoef(C,L,'sym4',3);
cD3 = detcoef(C,L,3);
A3 = wrcoef('a',C,L,'sym4',3);
D3 = wrcoef('d',C,L,'sym4',3);
M=mean(A3)
CD = readfis('WFL.fis');
grados=evalfis(M,CD)
```



Donde s representa el vector representativo de la señal EMG a analizar. A esta señal se le calcula su Transformada Wavelet Discreta y se obtienen los coeficientes de aproximación en el nivel tres. Se calcula el promedio de estos coeficientes y, por último, se ingresa este valor en el controlador difuso.

III. RESULTADOS

Para evaluar la caracterización y la clasificación de las señales EMG, primero se obtuvo una señal aleatoria de los tres movimientos de brazo ya mencionados. Posteriormente esta señal se ingresó en el código presentado en la sección anterior y los valores que se calcularon al compilar el programa se muestran en la figura 8.

```
M =
    1.5013

grados =
    152.8713
```

Fig 8. Valores de entrada y salida del controlador difuso

Donde M representa el promedio, el cual se ingresa al controlador difuso como valor de entrada; y grados es el valor de salida del controlador, el cual nos indica los grados en que se moverá el servomotor.

Para saber si nuestro valor de salida es correcto, se ingresó el valor promedio obtenido de la señal aleatoria en la ventana de las reglas difusas presente en el toolbox Fuzzy Logic. La figura 9 muestra los valores correspondientes a la entrada del controlador, así como su salida.

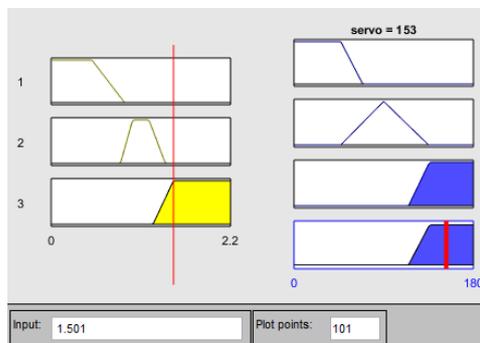


Fig 9. Valores de entrada y salida del controlador difuso en el toolbox Fuzzy Logic

Podemos observar en las figuras 8 y 9 que los valores de salida coinciden, lo que nos permite indicar que la señal pertenece al movimiento medio-arriba-abajo, y los grados en los que se moverá el servomotor estarán determinados por el conjunto difuso posición 3.

#### IV. CONCLUSIONES

Como se mencionó antes, es importante realizar una correcta caracterización de las señales EMG para garantizar que, al aplicarlas en sistemas de control o en prótesis robóticas, se presentará un error mínimo. Gracias a los resultados obtenidos dentro de nuestro trabajo podemos decir que la combinación del procesamiento de la señal EMG por medio de la Transformada Wavelet es y que los valores estadísticos de tal procesamiento sean ingresados a un controlador difuso es un método de caracterización eficiente, ya que nos permitió clasificar adecuadamente las señales EMG de los movimientos estudiados.

Obviamente, en este paso del proyecto, todavía es necesario realizar el comparativo entre esta metodología de caracterización y otras existentes para poder verificar la eficacia de nuestra propuesta. Ya que hasta este punto, sólo hemos demostrado que este proceso metodológico, logra caracterizar las señales EMG estudiadas, pero no se ha definido con que precisión, dejando este estudio como un trabajo futuro.

#### AGRADECIMIENTOS

Este proyecto se logró gracias a los proyectos PAPIME PE100221 y PIAPI 2053 de la UNAM y la FES-C.

#### REFERENCIAS

- [1] Contreras, D., Ramirez-Garcia, A., Gallegos, F., & Bazán, I. Prototipo de una Prótesis Mioeléctrica para la Emulación de una Articulación de Codo. *Revista mexicana de ingeniería biomédica*, 2015, 36(1), 77-92.J.
- [2] Florez, S., Fernando, B., Mora, B., & Alejandro, Y. (2010). Análisis de señales mioeléctricas orientadas a la robótica.
- [3] Zabala Aguiar, L. A. Desarrollo de un sistema de adquisición y procesamiento de señales electromiográficas con Matlab para la identificación de los movimientos extensión, flexión, pronación y supinación de un brazo humano (Master's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). 2017.
- [4] Vivaldi, E. A., & Maldonado, P. Computadores en investigación biomédica: I. Análisis de señales bioeléctricas. *Revista médica de Chile*. 2001. 129(8), 955-962.
- [5] Romo, H. A., Realpe, J. C., & Jojoa, P. E. (2007). Análisis de señales EMG superficiales y su aplicación en control de prótesis de mano. *Avances en Sistemas e informática*, 4(1).
- [6] Cortés, J. A., Garzón, H. B. C., & Chaves, J. A. (2007). Del análisis de Fourier a las Wavelets-transformada continua wavelet (CWT). *Scientia et technica*, 1(37).
- [7] Cortés, J. A., Medina, F. A., & Chaves, J. A. (2007). Del análisis de fourier a las wavelets - análisis de fourier. *Scientia et technica*, 1(34).
- [8] Nieto, N., & Orozco, D. M. (2008). El uso de la transformada wavelet discreta en la reconstrucción de señales senosoidales. *Scientia et technica*, 14(38), 381-386.