

# **CONVERTIDOR MULTINIVEL DE 7 NIVELES PARA UN SISTEMA DE ENERGÍA UNDIMOTRIZ CON EMULACIÓN DE PERFILES DE OLAS**

## *7-LEVEL MULTILEVEL CONVERTER FOR A WAVE-PROFILE EMULATED WAVE ENERGY SYSTEM*

***Erick Zain Adame Nájera***

Tecnológico Nacional de México / CENIDET, México  
*d20ce010@cenidet.tecnm.mx*

***Jesús Aguayo Alquicira***

Tecnológico Nacional de México / CENIDET, México  
*jesus.aa@cenidet.tecnm.mx*

***Susana Estefany de León Aldaco***

Tecnológico Nacional de México / CENIDET, México  
*susana.da@cenidet.tecnm.mx*

***Luis Gerardo Vela Valdés***

Tecnológico Nacional de México / CENIDET, México  
*luis.vv@cenidet.tecnm.mx*

***Samuel Portillo Contreras***

UAEM, Escuela de Estudios Superiores de Yecapixtla, México  
*samuel.portillo@uaem.mx*

**Recepción:** 8/diciembre/2024

**Aceptación:** 24/abril/2025

## **Resumen**

La energía undimotriz es una fuente renovable que puede desempeñar un papel crucial en la generación global de energía sostenible. Los sistemas undimotrices capturan la energía del movimiento de las olas y la convierten en electricidad mediante diferentes mecanismos. Este estudio se enfoca en la generación de energía undimotriz, mediante el uso de un convertidor (CD-CA) de tipo multinivel de 7 niveles acoplado a un conjunto motor-generator de CD utilizado como el emulador de ola. Para verificar el correcto funcionamiento del sistema undimotriz se selecciona el perfil de olas en el estado de colima de 2 localidades. Dado que el convertidor multinivel 7 niveles requiere de 3 convertidores (CD-CA) tradicionales, se requiere 3 emuladores de olas para este sistema undimotriz.

**Palabras Clave:** niveles, convertidor multinivel, emuladores, perfil de olas, undimotriz.

## **Abstract**

*Wave energy is a renewable source that can play a crucial role in global sustainable energy generation. Wave energy systems capture the energy from wave movement and convert it into electricity through different mechanisms. This study focuses on wave energy generation using a 7-level multilevel DC-AC converter coupled with a dc generator-motor used as the wave emulator. To verify the proper functioning of the wave energy system, the wave profile in the state of Colima from two locations is selected. Since the 7-level multilevel converter requires 3 traditional DC-AC converters, 3 wave emulators are needed for this wave energy system.*

**Keywords:** 7 levels, Emulation, Multilevel converter, Wave profile, Wave motion.

## **1. Introducción**

A finales del siglo XVIII y comienzos del XIX se empezaron a documentar las primeras patentes sobre la conversión de la energía de las olas en energía utilizable [Dolgov, 2015]. A lo largo del siglo XIX y principios del XX varios inventores desarrollaron y patentaron diferentes mecanismos para capturar la energía de las olas, aunque muchos de estos dispositivos no llegaron a ser comercialmente viables [Nuñez, 2019].

Hoy en día, la tecnología undimotriz sigue evolucionando, con diversos enfoques y dispositivos en desarrollo. Algunos de los dispositivos más sonados son los convertidores de columna de agua oscilante, los dispositivos de punto de absorción y los atenuadores [Garrido, 2012].

Debido a que la potencia máxima de las olas puede variar considerablemente, se realizan diversas pruebas con dispositivos electromecánicos que captan la energía del mar durante todo un año, teniendo en cuenta las diferentes estaciones. Esto significa que los datos y valores pueden presentar fluctuaciones, ya que tanto la estructura como la frecuencia no son constantes. La mayoría de los sistemas de captura de energía de las olas utilizan componentes electromecánicos, donde la

estructura se considera crucial para la generación de energía eléctrica. Estos componentes incluyen el punto de absorción [Rodríguez, 2017], el brazo mecánico [Haim, 2019], los atenuadores [Lekube, 2018] y la columna de agua oscilante [Beltran, 2022].

Se espera que el mercado de la energía undimotriz crezca significativamente en las próximas décadas. Según algunos informes, la capacidad instalada podría alcanzar varios Giga Watts para 2030 si se mantienen las tendencias actuales de inversión y desarrollo. Con el aumento de la escala de la producción, se espera que los costos de la energía undimotriz disminuyan. A pesar de su potencial, la energía undimotriz enfrenta varios desafíos, como la necesidad de infraestructura costera adecuada y la competencia con otras fuentes de energía renovable.

## 2. Métodos

El objetivo de este trabajo es obtener una forma de onda escalonada mediante un convertidor multinivel en cascada de 7 niveles acoplado a un motor de CD que cumple la función de emulador de perfil de olas [Montalvo, 2013].

El motor de CD se encargará de generar la emulación del movimiento ondulatorio de las olas y, a la vez, transmitir la potencia obtenida, que en este caso sería energía mecánica, el cual se transforma en energía eléctrica por medio de generador de corriente continua. Este generador ayudará al convertidor multinivel a producir una salida de corriente alterna como se observa en la Figura 1.

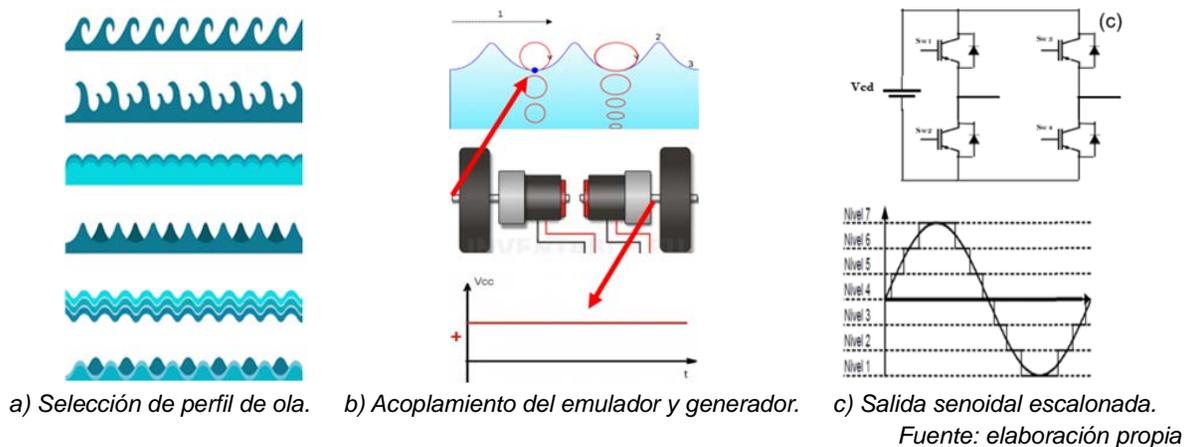
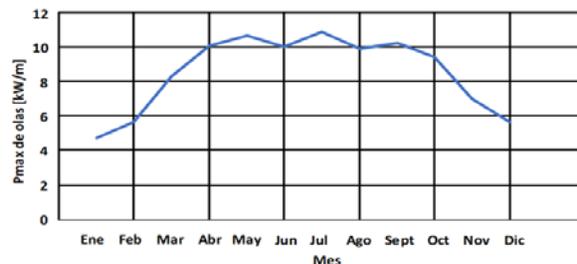


Figura 1 Esquema de sistema undimotriz.

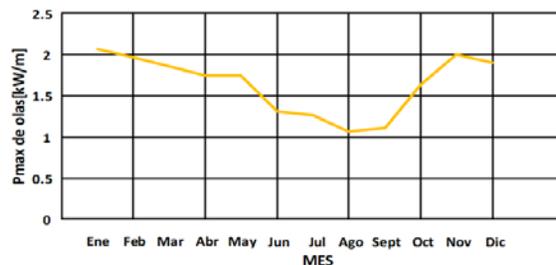
En la Figura 1a, se selecciona un perfil de olas con el objetivo de aprovechar al máximo su potencial energético. Este paso es crucial para maximizar la eficiencia en la conversión de la energía de las olas en energía utilizable. En la Figura 1b, se observa el acoplamiento de un motor y un generador de corriente continua (CD). El emulador de las olas reproduce el movimiento del perfil de olas seleccionado y, al estar acoplado al generador, convierte esa energía mecánica en una salida eléctrica de CD. Esta salida de CD sirve como fuente de alimentación para cada celda del inversor multinivel. Finalmente, en la Figura 1c, se ilustra cómo los inversores multinivel utilizan la energía en CD para producir una salida senoidal. El propósito de esta conversión es suministrar energía eléctrica de manera eficiente y estable, adecuada para el uso en aplicaciones que requieren una fuente de alimentación de corriente alterna (CA) senoidal.

### Selección de perfil de olas

Para seleccionar un perfil de olas, es necesario comparar los océanos disponibles utilizando datos y valores relacionados con la obtención de energía eléctrica a partir del movimiento de las olas. Esto incluye la potencia generada tanto en el océano pacífico como en el golfo de México, Figura 2.



a) Océano pacífico.



b) Golfo de México.

Fuente: [Ramírez, 2017]

Figura 2 Niveles de potencia en las olas en el (kW/m).

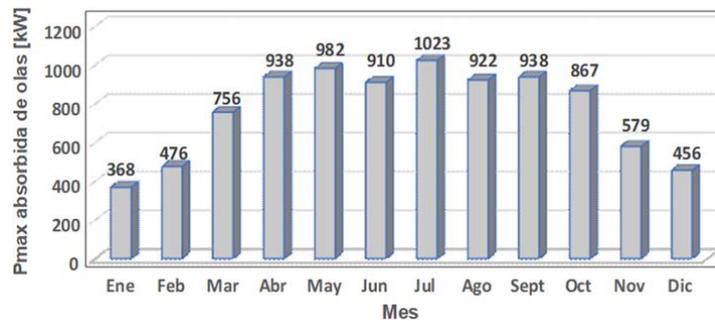
En cuanto a la selección del perfil de oleaje, se considera la ubicación donde se están realizando las pruebas de adquisición de datos basadas en un sistema de columna de agua oscilante, con el objetivo de elegir el lugar con mayor potencial durante un periodo específico.

La Tabla 1 presenta el estado seleccionado junto con los datos obtenidos de un generador lineal. El potencial de las olas se puede evaluar mensualmente mediante diversos factores que permiten una variabilidad en la adquisición de energía eléctrica por parte de los sistemas undimotrices. Esto lleva a la búsqueda de un punto de estudio que maximice la captación de energía. Así, en la Figura 3 se muestra el potencial máximo de dos lugares distintos.

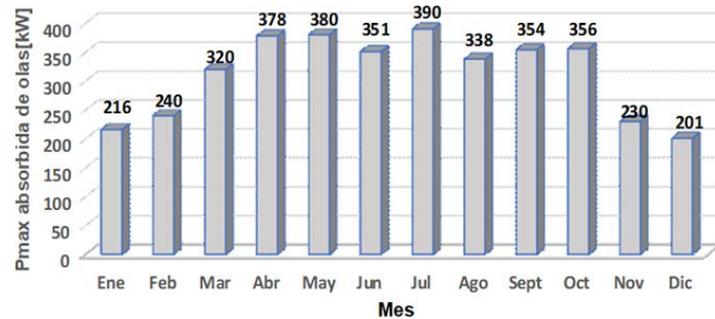
Tabla 1 Datos de perfil de olas, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Colima						
Municipio/ Ref. cercano	Ubicación		Distancia a la costa (km)	Profundidad del mar (m)	Total de datos	Datos correctos
	Lat.	Long.				
Peña blanca	19° N	104°30' O	15 km	293 m	143,271	141,888
San Juan de Alima	18°30' N	104° O	36 km	1297 m	143,559	142,173

Fuente: elaboración propia



a) Peña blanca.



b) San Juan de Alima

Fuente: elaboración propia

Figura 3 Potencia anual frente a la ola.

El estudio se realizó colocando un dispositivo lineal de captación de energía en Colima con diferentes posiciones y profundidades, de las cuales se calculó que el porcentaje de potencia obtenido es de  $9.78 \text{ kW/m}$ . Esto indica que el rendimiento del sistema undimotriz está significativamente afectado por la estructura y frecuencia de la onda en esta ubicación, en comparación con otras que presentan porcentajes más bajos, Tabla 2.

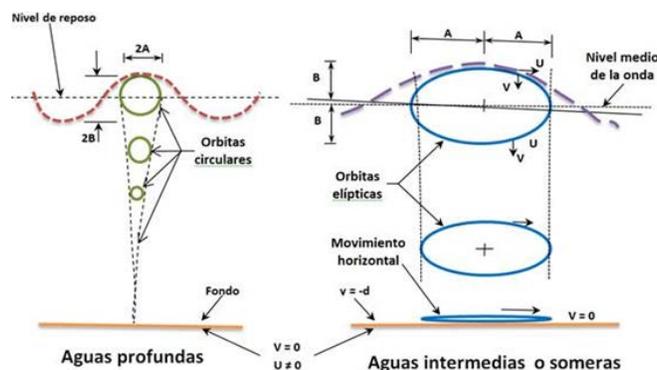
Tabla 2 Datos del perfil a generar.

Punto	Altura (m)	Frecuencia (Hz)	nodos	Potencia		Obtención
				Frente a la ola	Máxima anual	
Peña blanca	[1 – 1.5]	78.06%	5-7	7 kWh	669 kWh	5%

Fuente: elaboración propia

### Emulador de olas

Generalmente, el movimiento de las olas incluye partículas que se desplazan tanto horizontal como verticalmente. Además, si se colocan objetos pequeños, se puede observar un movimiento hacia adelante y hacia atrás, ya que estos pueden avanzar hasta la cresta de la ola y retroceder hasta el valle. En cuanto a la profundidad, en comparación con la longitud de onda, se pueden observar grandes desplazamientos tanto en el plano horizontal, que son oscilaciones completas, como en el plano vertical, que son movimientos verticales, Figura 4. De manera similar, también se generan movimientos circulares rotativos con un ángulo de posicionamiento que cambia en relación con el movimiento oscilatorio de las olas, siguiendo un patrón similar al de las agujas del reloj [Chowdhury, 2015].



Fuente: [Beltrán 2022]

Figura 4 Obtención de energía por el movimiento de las olas.

Los ángulos generados por el movimiento de las olas pueden convertirse en energía sin importar el dispositivo de captación utilizado, por ejemplo, ya sea por boyas o por generadores lineales. Para emular el movimiento de las olas se utiliza en este trabajo un generador lineal llamado a partir de ahora motorreductor. Un motorreductor se compone de un motor de CD acoplado a una caja de engranes. Los motorreductores más pequeños pueden alterar y sincronizar velocidades de rotación. Los motorreductores son excelentes para la emulación de la generación de energía eléctrica a partir del movimiento de las olas, ya que el número de revoluciones del motor puede reflejar la estructura de las ondas. Al conectarlos a un generador de corriente continua, se puede aprovechar eficientemente esta estructura ondulatoria para producir electricidad.

### **Potencia de emuladores de las olas**

Aplicar un voltaje inducido puede provocar un flujo de corriente en la misma dirección que el voltaje de inducción, generando así una potencia eléctrica que es proporcional al producto del voltaje inducido y la corriente. La potencia puede ser consumida por una carga, como un motor eléctrico. Por otro lado, si un voltaje externo provoca un flujo de corriente en su dirección, opuesta al voltaje inducido, la potencia eléctrica fluirá hacia las bobinas, siendo un proporcional al producto del voltaje externo y la corriente. Este fenómeno puede generar una fuerza electromagnética que resultará en el movimiento mecánico de un elemento motriz. La potencia eléctrica se define como la capacidad de realizar cierto trabajo en un tiempo determinado y se mide en Watts, Ecuación 1.

$$\dot{W} = M_T \omega \quad (1)$$

Donde la potencia  $\dot{W}$  desarrollada por el par motor  $M_T$  y  $\omega$  representa la velocidad angular de rotación del eje de transmisión, medida en (*rad/s*). La potencia generada por el motor se mide en watts de acuerdo con el sistema internacional de unidades. Es interesante conocer la potencia en función de las revoluciones por minuto (*rpm*) a las que gira el motor, en lugar de la velocidad angular. Si  $n$  son las revoluciones por minuto del motor, entonces la potencia  $\dot{W}$  como se expresa en la Ecuación 2.

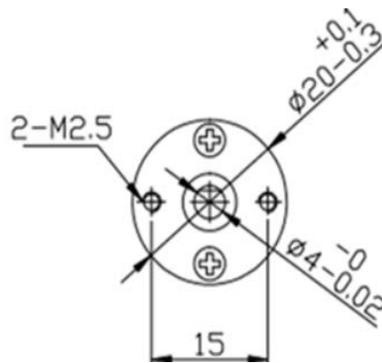
$$\dot{W} = \frac{M_T n}{9.55} \quad (2)$$

Donde  $n$  son las revoluciones por minuto del giro del motor ( $rpm$ ). El par se refiere a la fuerza de giro aplicada al eje de salida de un motorreductor y también a la fuerza rotativa en el eje de un motor. No es simplemente una fuerza medida en kilogramos, libras, onzas o Newtons, ni una potencia medida en  $hp$  o  $kilowatts$ . Es una fuerza rotativa cuyas unidades se expresan en  $N \cdot m$  ( $lb_f \cdot pulg$ ). Para abordar la parte del emulador de olas, se considera utilizar un motorreductor o dinamo de corriente continua, como se muestra en la Tabla 3 y en la Figura 5 se muestran las medidas del motorreductor, lo cual es fundamental para emular el potencial de olas generado en el punto seleccionado. Este dinamo imita el comportamiento de una turbina en un sistema de boyas o en un sistema de columna oscilante [Lekube, 2018].

Tabla 3 Datos de motorreductor sin carga.

Velocidad( $rpm$ )	Corriente( $mA$ )	Torque [ $N \cdot m$ ]
15	25	4.805
30	40	0.794
59	-----	-----
100	22	0.657
200	65	0.598

Fuente: elaboración propia



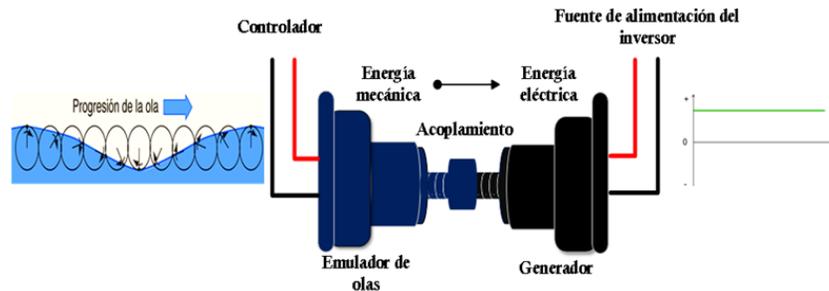
Fuente: elaboración propia

Figura 5 Medidas de la conexión del emulador de olas.

### Motor-generador de CD

En la Figura 6 se muestra el acoplamiento del emulador de olas (motor de CD) acoplado al generador de CD, donde transmite el movimiento de las olas y lo

transforma en una corriente de CD, cabe mencionar que solo se muestra un sistema, el cual para obtener una salida de 7 niveles a la salida requiere de 3 entrada de CD para obtener una salida de CA.



Fuente: elaboración propia

Figura 6 Acoplamiento entre emulador y generador.

La ventaja de utilizar un generador radica en que, dado que el potencial de olas a aprovechar es bajo y el emulador opera a baja potencia, se puede emplear un generador simple. La Tabla 4 muestra las características del generador a utilizar.

Tabla 4 Características del generador seleccionado.

Medidas	8 x 5 x 5 cm
Masa	340 g
Tensión Nominal	7.2 VDC
Tensión Operativa	12 VDC
Velocidad sin carga	12000 rpm
Consumo sin carga	0.32 A
Consumo a Max	3.7 A
Diámetro del eje	1.6 cm

Fuente: elaboración propia

## Convertidor multinivel

En general, los inversores multinivel se dividen en tres topologías básicas:

- CMLI (Inversor Multinivel en Cascada)
- DCMLI (Inversor Multinivel con Acoplamiento de Diodos)
- FCMLI (Inversor Multinivel con Condensadores Flotantes)

Los convertidores multinivel emplean una matriz de interruptores de potencia y condensadores como fuentes de tensión para generar una salida de corriente

alterna (CA). Los niveles de tensión de corriente continua (CD) en la forma de onda de salida están determinados por el número de conmutadores utilizados; a mayor número de conmutadores, menor es la tensión y la distorsión armónica total en la señal de salida.

### **Convertidor multinivel en cascada**

Existen dos tipos de convertidores multinivel en cascada: el simétrico y el asimétrico.

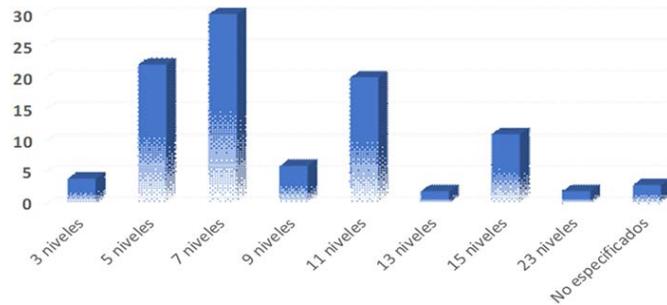
Ventajas de utilizar un inversor multinivel en cascada:

- El inversor presenta un contenido armónico reducido en comparación con un inversor convencional equivalente.
- La tensión del inversor se define como la suma de las tensiones de salida de los inversores de puente completo individuales.
- A medida que aumenta el número de niveles, la tensión puede soportar múltiples dispositivos semiconductores, ya que cada inversor maneja únicamente la tensión de su fuente de alimentación.
- La complejidad del control tiende a aumentar al implementar un inversor con más de 7 niveles.
- Para incrementar el número de niveles, es posible agregar inversores sin necesidad de rediseñar la etapa de potencia.
- La suma de las tensiones de salida de los inversores se denomina tensión de fase o puente completo individual.

El inversor multinivel en cascada tiene una mayor utilidad debido a su relación con las energías renovables, ya que puede conmutar con un menor número de componentes en comparación con otros convertidores.

Esto puede reducir el costo y el tiempo de implementación. Además, es posible seleccionar la cantidad de niveles a utilizar en el convertidor en cascada, considerando diferentes variables que pueden favorecer o perjudicar su rendimiento, como la variabilidad de las entradas (salida de los generadores) y si el inversor es simétrico (con voltaje constante) o asimétrico (con voltaje variable). En

la Figura 7 se puede observar una clasificación de los niveles más utilizados en los inversores multinivel.

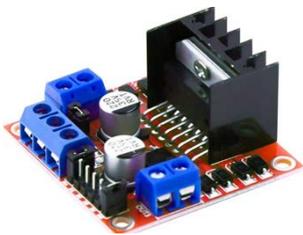


Fuente: elaboración propia

Figura 7 Porcentaje de utilidad de los niveles en los inversores multinivel.

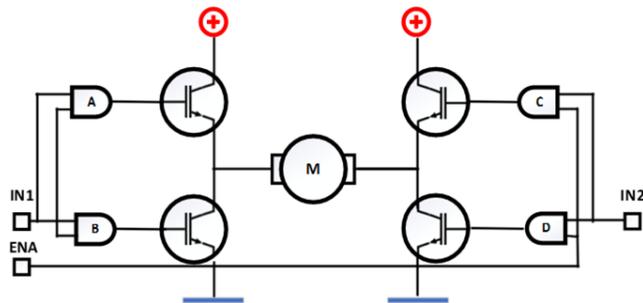
### Etapa de potencia del emulador de olas

En la Figura 8 se presenta la imagen del módulo L298n, este componente es un conjunto de elementos electrónicos conectados en puente h. La estructura del puente h puede operar de 2 maneras. Por un lado, el control de motor de CD que facilita la configuración del emulador para generar el perfil de olas y por el otro lado se utiliza como inversor que facilita la implementación en el convertidor multinivel. En la Figura 9 se presenta el diagrama esquemático del puente h.



Fuente: [Lekube 2018]

Figura 8 Puente H L298n.



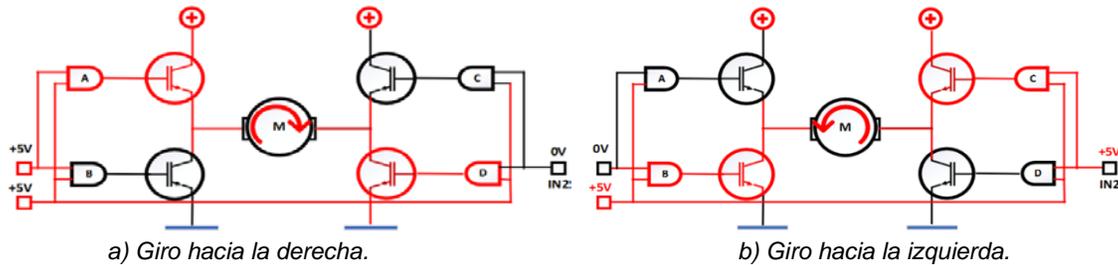
Fuente: [Thiringer, 2021]

Figura 9 Diagrama esquemático del puente h L298n.

### Operación como control de motor de CD

Para obtener un giro horario en el motor de CD, la entrada IN1 se energiza, activa la compuerta A, mientras que la compuerta D se mantiene a 0 V. De manera similar, las compuertas B y C permanecen desactivadas, ya que se estuvieran activadas no

habría movimiento de giro del motor. Si, por el contrario, la entrada IN1 se mantiene a 0 V, como se muestra en la Figura 10a. En el caso del giro en sentido antihorario, como se muestra en la Figura 10b, se energiza la entrada IN2 mientras que IN1 se mantiene a 0 V. En esta configuración, las compuertas A y D permanecen deshabilitadas, y se utilizan compuertas B y C de manera cruzada.

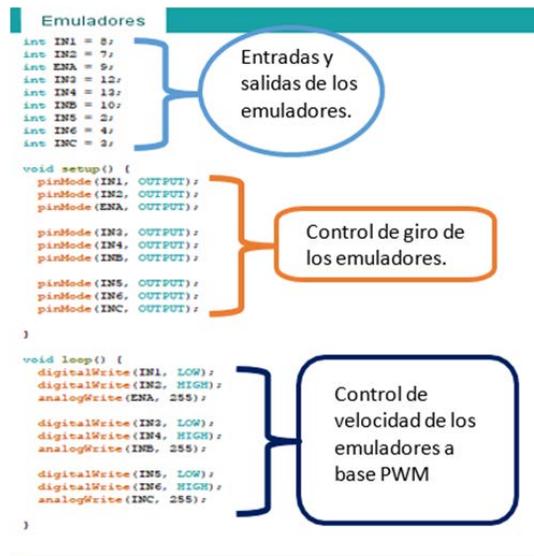


Fuente: elaboración propia

Figura 10 Diagrama de interconexión.

### Simulación del emulador de olas

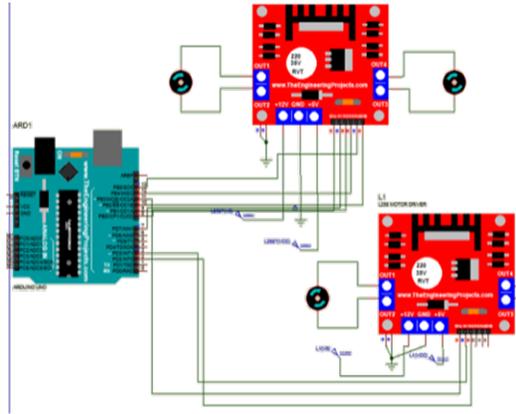
Para la simulación de emulador de olas, se decide utilizar un componente tipo Arduino tipo UNO, debido principalmente a que este componente tiene una salida de 8 bits que permite hasta 256 valores de operación en la velocidad del motor de CD utilizado como emulador de olas, como se muestra en la Figura 11.



Fuente: [Pabón, 2016]

Figura 11 Simulación de los emuladores de olas.

La Figura 12 muestra el diagrama esquemático de los 3 emuladores de olas controlados por un Arduino. Es importante destacar que el módulo L298n puede soportar dos emuladores de olas.



Fuente: elaboración propia

Figura 12 Simulación de los emuladores en Proteus.

### Simulación del convertidor multinivel

Para la operación de un convertidor multinivel se requieren 2 elementos importantes. Por un lado, una topología o estructura eléctrica (en este trabajo el convertidor multinivel en cascada 7 niveles). Por el otro lado una forma de modulación (que representa la manera de conmutar los componentes eléctricos). Una manera fácil de obtener la modulación en un convertidor multinivel 7 niveles es mediante el uso del método números triangulares que requieren 3 ángulos de conmutación por cada cuarto de ciclo (como se muestra en [De León, 2014]). La Tabla 5 muestra los 12 ángulos de conmutación empleando la técnica de números triangulares. La Figura 13 muestra el diagrama esquemático de las 3 celdas que forman parte del convertidor multinivel de 7 niveles. Es importante destacar que el módulo L298n es empleado también para este propósito.

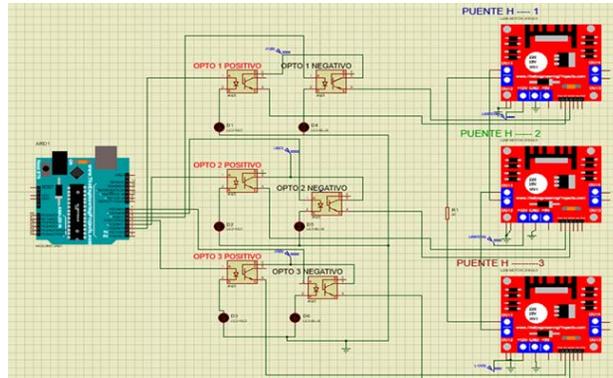
### 3. Resultado y Discusión

Con respecto al emulador de olas, se utiliza un motorreductor que cuenta con la siguiente característica, torque:  $0.794 \text{ N} \cdot \text{m}$ . Con los datos de Tabla 3, sustituyendo en Ecuación 2, tenemos que  $\dot{W} = 2.5 \text{ W}$ .

Tabla 5 Obtención de ángulos para el inversor.

Datos	Ángulos de conmutación	Pulsos positivos	Pulsos negativos
1	9°	×	
2	18°	×	
3	54°	×	
4	126°	×	
5	162°	×	
6	171°	×	
7	189°		×
8	196°		×
9	243°		×
10	306°		×
11	342°		×
12	351°		×

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia

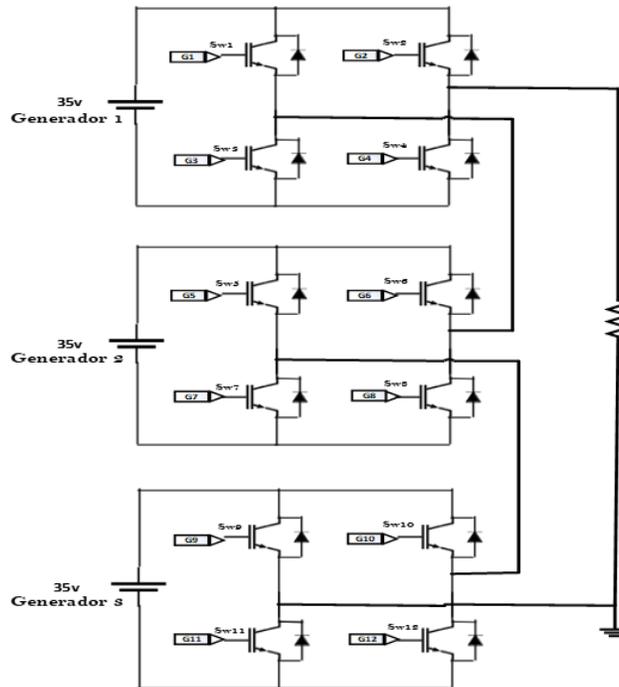
Figura 13 Simulación en Proteus del inversor de 7 niveles en cascada.

Mientras que el voltaje proporcionado por cada celda ( $V$ ) puede calcularse mediante la Ecuación 3. Donde  $R$  es la resistencia eléctrica.

$$V = \sqrt{(\dot{W} \cdot R)} \quad (3)$$

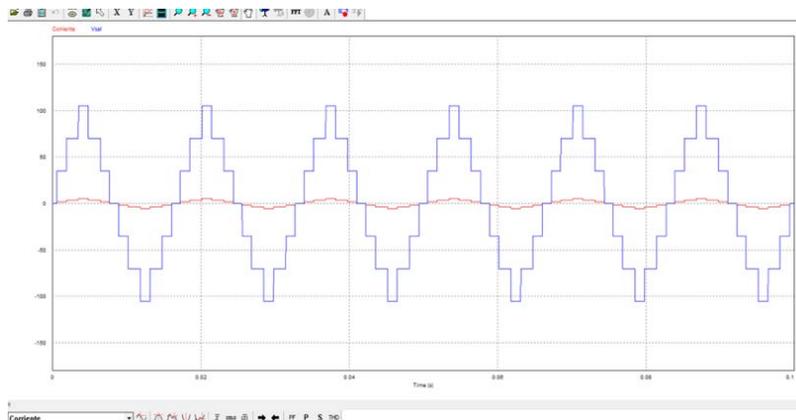
En la Figura 14 se muestra un diagrama esquemático con la finalidad de hacer un sistema emulado de un inversor multinivel en cascada de 7 niveles en el programa PSIM, que consta de 3 celdas y una carga resistiva.

En la Figura 15 se muestra la salida de inversor de tanto del voltaje y corriente para generar la onda senoidal por medio de la salida escalonada que se van proporcionando conforme a cada celda, que en total da como resultado 7 niveles.



Fuente: elaboración propia

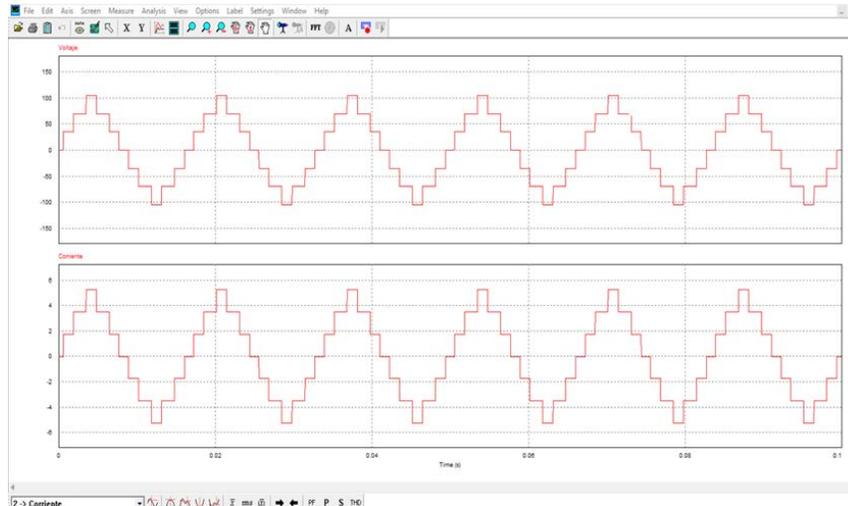
Figura 14 Diagrama esquemático del inversor de 7 niveles en cascada.



Fuente: elaboración propia

Figura 15 Salida de potencia del inversor de 7 niveles en cascada.

En la Figura 16 se puede percibir de mejor manera tanto la salida de voltaje como de la corriente, pero de manera separada. Se puede ver claramente que la salida del voltaje es de 105 V, debido a que cada celda genera de manera individual 35 V. En cuanto a la corriente respecto, al cálculo de la salida del inversor y la carga resistiva, se obtiene una salida de 5.25 A. Por último, en la Figura 17 se muestran los valores de *rms* tanto de la salida del voltaje y de la corriente.



Fuente: elaboración propia

Figura 16 Salida del Inversor (voltaje y corriente).

Time From	1.0000000e-005
Time To	1.6680000e-002
Voltaje	6.3503018e+001
Corriente	3.1751509e+000

Fuente: elaboración propia

Figura 17 Valor RMS del voltaje y corriente.

## 4. Conclusiones

La energía undimotriz representa una prometedora fuente renovable para la generación de energía sostenible a nivel global. Este estudio demuestra la viabilidad de utilizar un convertidor multinivel de 7 niveles (CD - CA) acoplado a un conjunto motor-generador de CD empleado como emulador de olas. Se seleccionaron dos localidades con perfil de olas adecuado para la integración del sistema.

La implementación del sistema en este trabajo, requiere de tres emuladores de olas, debido a la necesidad de tres convertidores tradicionales (CD - CA) para integrar al convertidor multinivel de 7 niveles.

Este trabajo subraya que un emulador de olas implementado por un motorreductor proporciona el potencial para el estudio de la energía undimotriz sin la necesidad de tener un sistema implementado físicamente considerado como una solución eficaz y sostenible para la generación de electricidad.

## 5. Bibliografía y Referencias

- [1] Chowdhury, P., Dhagat, P., & Jander, A. (2015). Parametric Amplification of Spin Waves Using Acoustic Waves. *IEEE Xplorer*, Vol. 51, No. 11, pp. 1-25, 2015.
- [2] De León A. S. E., Calleja, H., & Alquicira, J. A. Reliability and mission profiles of photovoltaic systems: A FIDES approach. *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 30, No. 5, pp. 2578-2586, 2014.
- [3] Dolgov, V. V. Estudio de la energía del mar y posibles aplicaciones en las costas. *Españolas Universidad Politècnica de Catalunya*, Vol. 15, No. 1, pp. 47-60, 2015.
- [4] Garrido, A. J., Izaskun Garrido, M. A., & Alberdi, M. D. I. S. Sliding-Mode Control of Wave Power Generation Plants. *IEEE Xplorer*, Vol. 48, No. 6, pp. 2372-2392, 2012.
- [5] González R. X., Hernández R. I., & Barrios P. H. Potencial energético undimotriz en nodos costeros de México, Parte 1: estimación energética. *Tecnología y Ciencias del Agua*, Vol. 8, No. 11, pp. 10-34, 2017.
- [6] Gutierrez B. L. V., Gallo T. A. S., & Pérez G. T. Viabilidad de la implementación de energía undimotriz en la costa Pacífica Colombiana. *UGCiencia*, Vol. 28, No. 1, pp. 1-33, 2022.
- [7] Haim, A., Pelissero, M., Pozzo, J., Gallo, F., Jauregui, M., Ceciaga, N., de Vita, G., Pittón, L., Bufanio, R., & Muiño, F. Energía undimotriz-tecnología argentina para la generación de energía eléctrica. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 44, pp. 39-47, 2019.
- [8] Lekube, J., Garrido, A. j., & Garrido, I. Rotational Speed Optimization in Oscillating Water Column Wave Power Plants Based on Maximum Power Point Tracking. *IEEE Xplorer*, Vol. 14, No. 2, pp. 681-691, 2018.
- [9] Lekube, J., Garrido, A. J., Garrido, I., & Otaola, E. Mejora de la Potencia Obtenida en Plantas de Generación Undimotriz basadas en Columna de Agua Oscilante. *Revista iberoamericana de automática e informática industrial*, Vol. 15, No. 2, pp. 145-155, 2018.

- [10] Montalvo, E. E., Dominguez, M. A., Escalante, M. F., & Rodriguez Cortés, H. Control Simplificado de un Rectificador Activo de 3 Niveles. *AMCA*, Vol. 7, pp. 557-561, 2013.
- [11] Najera, A., & Zain, E. Perfil de misión de un convertidor multinivel en un sistema undimotriz. *Revista Avance Tecnológico Libres*, Vol. 13, No. 28, pp. 66-73, 2022.
- [12] Nuñez, F. J., & Farasat, M. Integrative Sizing/Real-Time Energy Management of a Hybrid Supercapacitor/Undersea Energy Storage System for Grid Integration of Wave Energy Conversion Systems. *IEEE Xplorer*, Vol. 10, No. 4, pp. 3798-3810, 2019.
- [13] Pabón F. L. D., Díaz R. J. L., & Pardo G. A. Simulación del inversor multinivel de fuente común como variador de frecuencia para motores de inducción. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, Vol. 7, No. 1, pp. 165-180, 2016.
- [14] Ramírez, F. J. C., Tapia, H. J. C. L., & Nava, N., V. Estrategia de control para inversor multinivel con capacitores flotantes. *Pistas educativas*, Vol. 35, No. 108, 2018.
- [15] Rodríguez S. R., & Chimbo C. M. Aprovechamiento de la energía undimotriz en el Ecuador. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, Vol. 17, pp. 23-28, 2017.
- [16] Thiringer, P. T. T. Sizing of IPM Generator for a Single Point Absorber Type Wave Energy Converter. *IEEE Xplorer*, Vol. 33, No. 1, pp. 10-19, 2021.