

# PRIMEROS PASOS EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CANAL DE OLAS DE BAJO COSTO

## FIRST STEPS IN THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF A LOW-COST WAVE FLUME

V. ÁVALOS ALVARADO, G. SÁNCHEZ COLINA, E. ALTSHULER<sup>†</sup>

Grupo de Sistemas Complejos y Física Estadística, Facultad de Física, Universidad de La Habana, Cuba; ealtshuler@fisica.uh.cu

<sup>†</sup> autor para la correspondencia

Recibido 9/03/2020; Aceptado 19/09/2020

PACS: Ocean waves (Ondas oceánicas), \*92.10.H-, 92.10.Hm; engineering (ingeniería), 89.20.Kk; engineering of natural and man-made disasters (ingeniería de los desastres naturales y debidos al hombre), 89.60.Gg

Las zonas costeras son ecosistemas altamente afectados por el cambio climático y la contaminación de origen humano. Ambas amenazas están estrechamente vinculadas a las olas [1], y resulta conveniente estudiarlas a nivel de laboratorio mediante los llamados canales de olas.

En el presente trabajo presentamos los primeros pasos en el diseño de un canal de olas que consta de un generador controlado por una aplicación gráfica en una computadora personal que envía los comandos por cable al accionamiento maniobrado por un Arduino [2]. En esta etapa del diseño, se utilizó un programa de prueba desarrollado en Matlab [3].



Figura 1. Canal de olas. En la foto no se incluye el generador de olas.

El canal de olas construido consta de 4 secciones desmontables con vidrio de 5mm de grosor y bridas rectangulares cortadas en acrílico del mismo grosor. El ensamble se realizó con silicona y resina epóxica, y las uniones fueron atornilladas para garantizar la hermeticidad. La sección transversal es de 15 por 20 cm<sup>2</sup>, y la longitud es 4.2 metros, como se aprecia en la Fig. 1.

Se seleccionó un generador de olas de pistón, por ofrecer la relación funcional más sencilla entre el desplazamiento

y los parámetros de la onda generada, además de ser el recomendado para experimentos en aguas poco profundas [4,5].

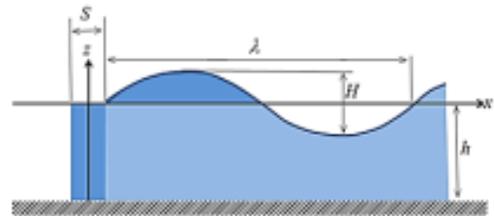


Figura 2. Parámetros básicos de una ola generada mediante un pistón.

La Fig. 2 muestra un esquema que indica cómo un generador de olas tipo pistón actuando sobre aguas de profundidad  $h$  produce una ola de amplitud  $H$  y longitud de onda  $\lambda$ . Suponiendo aguas de mediana profundidad ( $\lambda/20 < h < \lambda/2$ ), el volumen de agua que mueve el pistón al desplazarse una distancia horizontal  $S$  puede igualar al volumen en el primer semiciclo de la ola (zona azul más oscura en la Fig. 2), lo que permite llegar a [4,5]:

$$H = \frac{2\pi}{\lambda} Sh. \tag{1}$$

Además, se puede probar que el período vale [4,5]:

$$T = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g} \left[ \tanh \frac{H}{S} \right]^{-1}}, \tag{2}$$

con  $g \approx 9.8 \text{ m/s}^2$ . Estimemos gruesamente los parámetros reales con los que podríamos lograr olas de dimensiones razonables, dada nuestra geometría. Si el tanque de olas se llena con  $h = 15 \text{ cm}$  y deseamos obtener olas con  $H = 3 \text{ cm}$  y  $\lambda = 1 \text{ m}$ , las fórmulas (1) y (2) indican que la amplitud y el período de las oscilaciones del pistón valdrían  $S \approx 3 \text{ cm}$  y  $T \approx 0.9 \text{ s}$ , respectivamente. Suponiendo que el número de Froude se usa como constante para encontrar la relación de escala entre las otras del mar y las del canal de olas, se puede escribir [5]

$$\left( \frac{T_{\text{mar}}}{T_{\text{canal}}} \right)^2 = \frac{h_{\text{mar}}}{h_{\text{canal}}}. \tag{3}$$

Así, para los parámetros del canal  $T_{\text{canal}}$  y  $h_{\text{mar}}$  estaríamos simulando olas marinas con  $T_{\text{mar}} \approx 7$  s en aguas de profundidad  $h_{\text{mar}} \approx 9$  m (por ejemplo), que resultan valores típicos en zonas costeras.

Como los generadores de olas comerciales pueden resultar muy costosos, los autores buscaron una solución alternativa: utilizando un soporte de laboratorio de altura regulable, se logró convertir el movimiento de rotación generado por un motor, en movimiento de traslación, capaz de generar las olas (nótese que, para generar el movimiento oscilatorio correspondiente, el motor debe invertir el sentido de rotación). El motor se controló mediante un sistema Arduino [2], a su vez asociado a un programa en MatLab [3]. La Fig. 3 muestra un esquema de bloques del sistema.

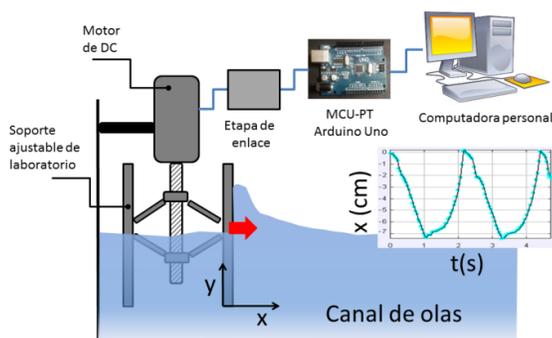


Figura 3. Esquema de bloques del sistema generador-canal de olas. Recuadro: oscilación real del generador durante una prueba de laboratorio.

La Fig. 4 muestra la etapa de enlace que permite accionar el motor. Esta consta de un circuito puente realizado con transistores MOSFET, y un circuito lógico con dos entradas controlando la velocidad de giro con una función de ancho de pulso modulado PWM.

El programa de comprobación se realizó en la interfaz gráfica de MatLab [3]. El comando se entrega al Arduino [2], que separa los valores para tomar las acciones necesarias. Los detalles de estos programas, en su versión definitiva, se reportarán en otra publicación.

La Fig. 5 muestra el diagrama de bloques global del generador de olas. Los parámetros (amplitud y frecuencia) se introducen desde una interfaz gráfica en la PC. Si se encuentran dentro del rango de parámetros posible, se envían al Arduino. Éste último controla la sección de potencia (etapa de enlace), mediante dos señales digitales: una que determina la intensidad (o parada) de la rotación, y otra que determina el sentido de giro. En el recuadro de la Fig. 3 se muestra el recorrido de un punto en la paleta que genera las olas (con flecha roja en el panel superior) medido durante una prueba del sistema en seco.

En resumen, aprovechando materiales y circuitos de bajo costo, se pudo diseñar e implementar un canal de olas de pequeñas dimensiones, en versión preliminar. El sistema definitivo deberá generar olas con forma y parámetros controlados idealmente a lazo cerrado, lo cual implica la implementación de sensores de parámetros mecánicos de las olas que retroalimenten al generador. Este será el tema de futuros trabajos.

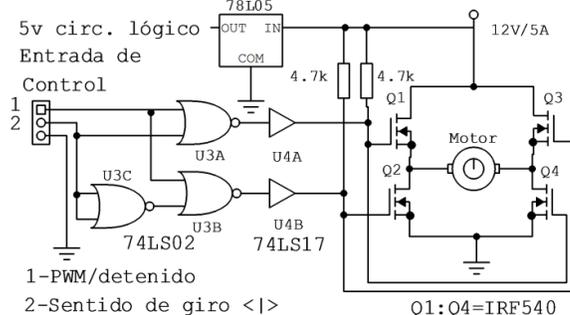


Figura 4. Etapa de enlace que permite el accionamiento del motor.

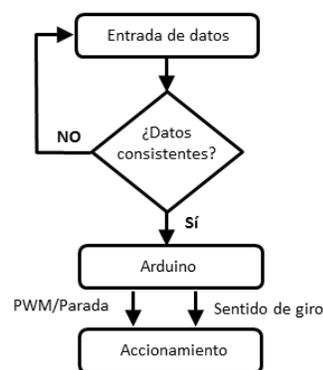


Figura 5. Diagrama que representa el funcionamiento global del generador.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] T. Dawson, J. Hambly, A. Kelley, W. Lees y S. Miller. Proc. Nat Acad. Sci. (PNAS) **117**, 8280 (2020).
- [2] M. Margolis, Arduino Cookbook (O'Reilly Media Inc., Sebastopol, CA USA, 2011).
- [3] The MathWorks, Inc., MatLab Creating Graphical User Interfaces, Natick, MA 01760-2098: MathWorks, 2015.
- [4] R. G. Dean, y R. A. Dalrymple, Wavemaker Theory. En Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists, (World Scientific Publishing Co., Singapore, 1991)
- [5] K. Samuelson, "Design and construction of an electromechanically driven wave flume". Thesis, Swartmore College, USA, 2014.

