

# DETECCIÓN TEMPRANA DE CAVITACIÓN EN TURBOMÁQUINAS

Omar Posada<sup>1</sup>, Juan Villemur<sup>1</sup>, Pablo Gianoli<sup>1</sup>, Henry Figueredo<sup>2</sup> y Rodolfo Pienika<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Universidad de la República, Uruguay

<sup>2</sup> Instituto de Ingeniería Mecánica y Producción Industrial, Universidad de la República, Uruguay

[oposada@fing.edu.uy](mailto:oposada@fing.edu.uy), [jvillemur@fing.edu.uy](mailto:jvillemur@fing.edu.uy), [pgianoli@fing.edu.uy](mailto:pgianoli@fing.edu.uy), [henryf@fing.edu.uy](mailto:henryf@fing.edu.uy) y [rpienika@fing.edu.uy](mailto:rpienika@fing.edu.uy).

## INTRODUCCIÓN

Cómo es bien sabido, la cavitación es un problema con el que las turbomáquinas conviven ya que, entre otros factores, es de difícil detección. El daño por erosión cavitatoria en bombas y turbinas hidráulicas significan altos costos de reparación y otras pérdidas económicas por indisponibilidad de las máquinas. Esto último se vuelve más relevante en las grandes centrales hidroeléctricas y en las plantas de bombeo de distribución de agua potable.

El presente trabajo se enmarca en un proyecto de investigación financiado por CSIC-UdelaR, el que se encuentra en una etapa temprana de desarrollo. El mismo tiene como objetivos estudiar y desarrollar métodos de detección temprana de cavitación en turbomáquinas, que escapen del alcance del método ortodoxo (o estándar) de la Altura Neta Positiva en la Aducción (ANPA o NPSH por sus siglas en inglés). En particular se plantea estudiar métodos de detección por señales de vibraciones y emisiones acústicas, las cuales es conocido que permiten identificar la aparición de las primeras burbujas de vapor (cavitación incipiente). Estos estudios se han llevado a cabo en los últimos años por varios investigadores, como por ejemplo Bajic y Keller (1996), Bajic (2003), Escaler et al. (2006), Rivetti et al. (2018) y Valentín et al. (2018).

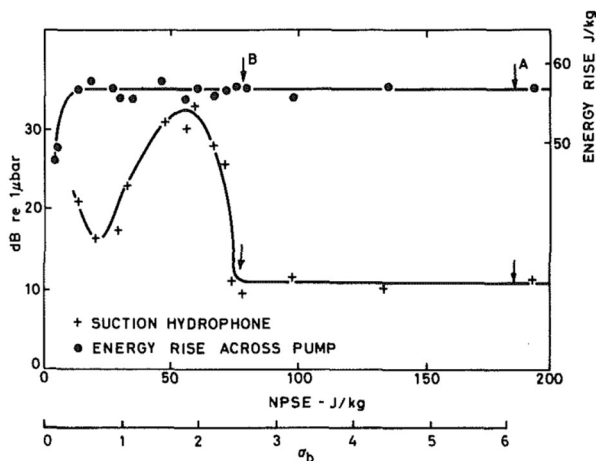
Otro objetivo del proyecto es implementar un método basado en inteligencia artificial que, al detectar una señal de vibración o emisiones acústicas relacionada con cavitación incipiente, emita una alarma o realice algún tipo de control sobre la operación de la máquina para alejarla de dicha condición. Se han encontrado algunos trabajos recientes en este sentido, como el de Arato y Lobato de Almeida (2008), Gregg et al. (2018) y Amini et al. (2022).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la obtención de señales vibratorias se utilizaron acelerómetros adheridos a diferentes partes exteriores de las turbomáquinas. Para el análisis de emisiones acústicas se planea la adquisición de un hidrófono a ser instalado en la zona de la tubería del lado de bajas presiones.

Los métodos de análisis, tanto para señales de vibraciones como de emisiones acústicas, en las diferentes referencias literarias consisten en hacer un estudio en el dominio de la frecuencia. La mayoría (o la totalidad) de estas coinciden en que a bajas frecuencias hay gran interferencia de las componentes del tipo mecánico como pueden ser los rodamientos, el motor y otras fuentes de vibraciones o emisiones. Mientras que a altas frecuencias predominan las componentes debidas a la cavitación.

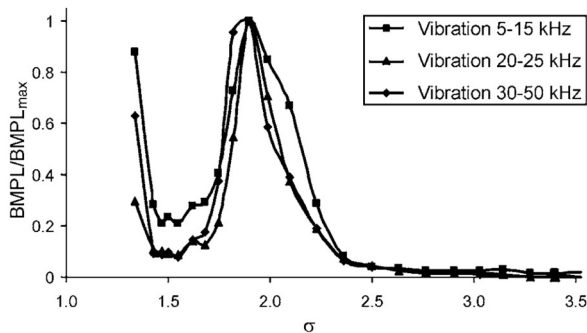
En 1982, Pearsall y McNulty estudiaron la cavitación incipiente en distintos tipos de bombas. Utilizando un hidrófono y estudiando visualmente la aparición de la cavitación, determinaron que para el mismo valor de NPSE (energía neta positiva en la aducción, en J/kg) al que comienza a elevarse la amplitud de las señales del hidrófono, se da la inceptión de la cavitación visualmente. La amplitud de la señal se eleva hasta un máximo, para un valor de NPSE muy superior al correspondiente al del punto de caída de la carga entregada por la bomba, en el cual los autores aseguran que se da el mayor daño por erosión en el rotor. En la figura 1 se muestra una imagen extraída de Pearsall y McNulty (1982), en la cual los autores indican el comportamiento típico del ruido en función del coeficiente de cavitación (NPSE)



**Figura 1.-** Imagen extraída de Pearsall y McNulty (1982).

El trabajo de Rus et al. (2007) muestra los resultados de mediciones hechas en turbinas Kaplan con acelerómetros, hidrófonos y sensores de emisiones acústicas. En los cuales compara la intensidad de las señales obtenidas con el número de cavitación  $\sigma$ .

Los resultados muestran un comportamiento similar en las mediciones hechas con los tres sensores con algunas pequeñas variaciones. Los resultados de Rus et al. (2007) indican que las señales tienen un pico en el mismo número de cavitación.



**Figura 2.-** Resultados de Rus et al. (2007) para señales de vibraciones en una turbina Kaplan

En el presente trabajo se realizaron ensayos en el banco de ensayo de bombas del Instituto de Mecánica de Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA) (figura 3), como puede verse en la figura 4 la máquina ensayada es una bomba centrífuga marca KSB modelo Meganorm 40-160 con un rotor de 174 mm de diámetro, girando a una velocidad de 2000 rpm (mediante variador de velocidad). Se realizó el ensayo de cavitación a caudal constante, reduciendo el ANPA, para dos caudales: 9 l/s y 5 l/s.



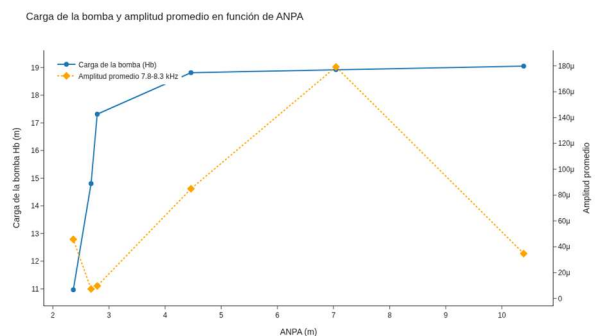
**Figura 3.-** Banco de ensayos del IMFIA



**Figura 4.-** Bomba KSB utilizada

## RESULTADOS

Los resultados del ensayo hecho en el banco del IMFIA muestran un comportamiento similar a los obtenidos por Pearsall y McNulty (1982). En nuestro caso fueron comparados con el valor de ANPA disponible.



**Figura 3.-** Amplitud promedio de las señales en el rango de frecuencias de 7.8 – 8.3 kHz y carga entregada por la bomba comparada con el ANPA disponible. Ensayo realizado en el IMFIA para un caudal de 5 l/s

## CONCLUSIONES

Aún es un trabajo en proceso y falta mucho por investigar. Pero en primera instancia se tiene

un primer resultado que coincide con los resultados de la literatura de referencia. La idea a futuro es poder evaluar una forma más fina de regular el ANPA disponible para poder contar con más puntos intermedios que permitan suavizar la curva y obtener resultados con mayor resolución, como los trabajos de los autores mencionados. Además, se planea comprar un hidrófono para poder hacer análisis de señales acústicas.

Parte del proyecto es poder implementar tecnología de *machine learning* e inteligencia artificial para el monitoreo de las señales.

Adicionalmente, además del enfoque de monitoreo en tiempo real de las señales, también se puede aplicar este estudio para el cálculo de un coeficiente que permita corregir el ANPA requerido para la caída del 3% de la carga a un ANPA requerido para una condición de comienzo de cavitación como para el ANPA requerido para la condición de máxima erosión.

## REFERENCIAS

- A. Amini, O. Pacot, D. Voide, V. Hasmatuchi, P. Roduit, C. Münch-Alligné (2022). Development of a Novel Cavitation Monitoring System for Hydro Turbines Based on Machine Learning Algorithms. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1079 012015
- A. Arato Junior, F. C. Lobato de Almeida (2008). Automatic Faults Diagnosis by Application of Neural Network System and Condition-Based Monitoring Using Vibration Signals. Proceedings of The 2008 IAJC-IJME International Conference ISBN 978-1-60643-379-9
- B. Bajic, A. Keller (1996). Spectrum Normalization Method in Vibro-Acoustical Diagnostic Measurements of Hydroturbine Cavitation. Journal of Fluids Engineering. Vol. 118
- B. Bajic (2003) Methods for vibro-acoustic diagnostics of turbine cavitation, Journal of Hydraulic Research, 41:1, 87-96, DOI: 10.1080/00221680309499932
- A. Rivetti, M. Angulo, C. Lucino, F. Botero, S. Liscia (2018). Hydrodynamic behavior on kaplan turbines: experimental methodology for the evaluation of cavitation development based on dynamic measurements. American Journal of Hydropower, Water and Environment Systems Publisher: Acta Editora/LAWG-IAHR DOI:10.14268/ajhwes.2018.00052
- X. Escaler, E. Egusquiza, M. Farhat, F. Avellan, M. Coussirat (2006) Detection of cavitation in hydraulic turbines. Mechanical Systems and Signal Processing 20 (2006) 983–1007
- S. W. Gregg, J. P.H. Steele, D. L. Van Bossuyt (2018). A Method for Automated Cavitation Detection with Adaptive Thresholds. International Journal of Prognostics and Health Management, ISSN 2153-2648, 2018 005
- I. S. Pearsall y P. J. McNulty (1982). Cavitation Inception in Pumps. Journal of Fluids Engineering. Vol. 104
- T. Rus, M. Dular, B. Širok, M. Hoc̑ev̑ar, I. Kern (2007). An Investigation of the Relationship Between Acoustic Emission, Vibration, Noise, and Cavitation Structures on a Kaplan Turbine. Journal of Fluids Engineering. Vol. 129
- D. Valentín, A. Presas, M. Egusquiza, C. Valero, E. Egusquiza (2018). Transmission of High Frequency Vibrations in Rotating Systems. Application to Cavitation Detection in Hydraulic Turbines. MDPI Applied Sciences Journal.