

CARACTERIZACIÓN DE LA CAVITACIÓN DE EXTREMO DE ÁLABE EN UNA TURBINA KAPLAN MEDIANTE CFD Y COMPARACIÓN CON ENSAYOS EXPERIMENTALES

Arturo Rivetti, Juan Manuel Galíndez y Sergio Oscar Liscia

UIDET Hidromecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

arturorivetti@unlp.edu.ar

INTRODUCCIÓN

En las etapas tempranas de diseño de turbomáquinas hidráulicas, la dinámica de fluidos computacional (CFD) constituye una herramienta esencial para la definición de los contornos hidráulicos. En este contexto, la cavitación es un aspecto crítico cuya predicción temprana permite reducir significativamente los costos asociados a la etapa experimental de ajuste en modelo físico. Si bien el estado del arte en simulación numérica posibilita estudiar fenómenos complejos, resulta necesario disponer de enfoques más simplificados que ofrezcan resultados confiables en tiempos de cálculo compatibles con las necesidades de la industria.

En este trabajo se presentan simulaciones de una turbina Kaplan aplicando el modelo bifásico de Zwart-Gerber-Belamri (ZGB) en ANSYS CFX. Se analizó un punto de operación bajo diez condiciones de sumergencia, con el objetivo de evaluar la evolución de la cavitación. Los resultados numéricos se compararon con ensayos en modelo físico a escala reducida en idénticas condiciones de funcionamiento. La comparación incluyó tanto la variación del rendimiento hidráulico asociada a la cavitación como el volumen cavitado. De forma complementaria, se vinculó el desarrollo de cavitación con el análisis de señales dinámicas obtenidas mediante acelerómetros en el modelo físico.

En este caso de estudio, el CFD permitió reproducir la tendencia general de la cavitación observada experimentalmente, presentando no obstante un corrimiento en las curvas en función de la variable σ . Asimismo, la intensidad de cavitación estimada a partir de señales de vibración se presenta como una herramienta eficaz para su detección indirecta, reduciendo la dependencia de la observación visual.

MATERIALES Y MÉTODOS

El caso de estudio corresponde a una turbina Kaplan con cinco álabes de rodete y veinticuatro paletas de predistribuidor y distribuidor. Para reducir los tiempos de cálculo, el dominio computacional se

definió considerando simetría rotacional en los subdominios estator y rotor. La simulación incluyó el tubo de aspiración completo, con una extensión convergente en la salida para evitar la recirculación del flujo (Figura 1).

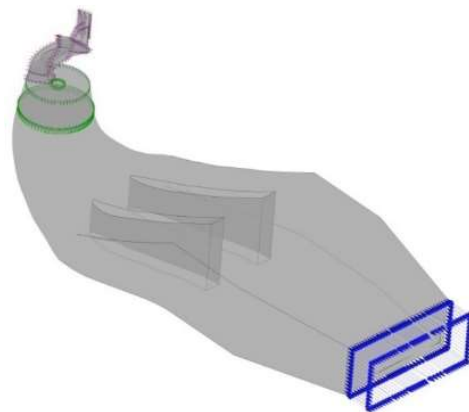


Figura 1.- El dominio simulado incluye un canal del estator, un canal del rodete, el cono y el tubo de aspiración completo.

Los cálculos se realizaron en régimen estacionario, empleando interfaces del tipo stage entre los dominios rotante y estacionario. Se utilizó una malla hexaédrica estructurada en todo el dominio, con un total de 8 millones de elementos, de los cuales 3,4 millones correspondieron al dominio rotante. Se prestó especial atención al mallado del huelgo entre los álabes y el anillo de descarga, con el fin de representar adecuadamente el vórtice de punta y la cavitación asociada.

El modelo de turbulencia adoptado fue el Shear-Stress-Transport (SST), mientras que la cavitación se representó mediante el modelo bifásico de Zwart-Gerber-Belamri (ZGB), basado en la ecuación de Rayleigh-Plesset (Mundet, 2019). Como condición de borde en la salida se impuso una presión total uniforme, cuyo valor se fijó de acuerdo con el valor de sigma correspondiente a cada punto de ensayo en modelo físico. El punto de operación simulado corresponde a una región de salto mínimo y máxima carga.

Los resultados experimentales utilizados para la comparación corresponden a Rivetti (2015).

RESULTADOS

El desarrollo de cavitación para el punto de operación simulado, ilustrado en la Figura 2, se inicia a partir del vórtice de punta ($\sigma = 1,26$). A medida que la presión disminuye, la cavitación de extremo de álabe incrementa su volumen hasta $\sigma = 0,88$. Para $\sigma = 0,77$ se observa además la aparición de cavitación de cubo y de cavitación sobre la cara de baja presión del álabe. Finalmente, en el último punto simulado se evidencia un régimen plenamente desarrollado. Como era de esperar, los patrones de cavitación se encuentran estrechamente vinculados con la distribución de presiones en el álabe, donde la presión de vapor se indica con color negro.

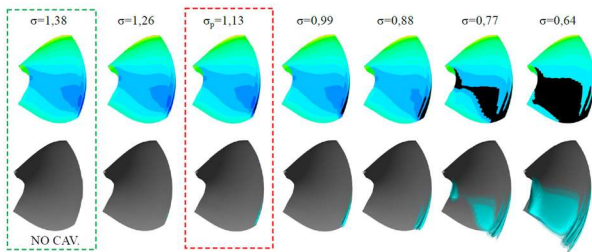


Figura 2.- Distribución de presiones y desarrollo de cavitación en la cara de baja presión del álabe para los distintos valores de σ simulados.

Los patrones de cavitación obtenidos mediante CFD presentan una buena correspondencia con las observaciones experimentales. Para realizar la comparación cuantitativa, se aplicó a los resultados numéricos la misma metodología de cuantificación utilizada en el modelo físico (Figura 3). El análisis evidenció un desfase entre ambas curvas de aproximadamente $\Delta\sigma = 0,15$. Asimismo, la intensidad de las vibraciones medidas con acelerómetros mostró una correlación adecuada con el volumen de cavitación estimado numéricamente.

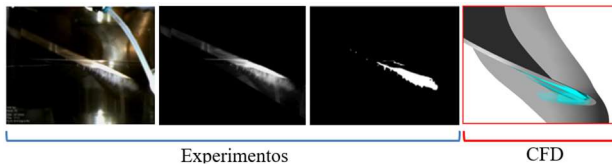


Figura 3.- Área cavitada: CFD vs modelo físico.

En las curvas de rendimiento (Figura 4) se observa un desfase similar. El rendimiento calculado en CFD, en ausencia de cavitación, resulta un 1,2% inferior al registrado experimentalmente, aunque la forma de la curva se

reproduce de manera consistente. Tanto el valor de sigma incipiente como el estándar presentan el mismo corrimiento medio observado en las curvas de volumen cavitado.

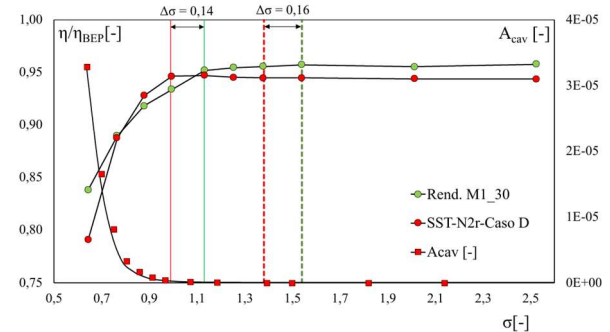


Figura 4.- Rendimiento hidráulico obtenido en CFD vs modelo físico y área cavitada.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentan los resultados de la simulación numérica de una turbina Kaplan en modelo reducido, con el objetivo de analizar el desarrollo de cavitación en un rango de σ que abarca desde la condición sin cavitación hasta un régimen plenamente desarrollado.

Los resultados muestran una correspondencia adecuada con los ensayos experimentales, tanto en el plano cualitativo (tipos de cavitación) como en el cuantitativo (área cavitada y rendimiento hidráulico). Se identificó un desfase de aproximadamente $\Delta\sigma = 0,15$ en las curvas numéricas, lo que refleja un retraso en la predicción del inicio de cavitación.

Como trabajo futuro, se plantea ajustar los coeficientes del modelo ZGB y llevar a cabo un estudio de sensibilidad de malla, con el fin de reducir dicho desfase y mejorar la capacidad predictiva de la metodología.

REFERENCIAS

Rivetti A., Angulo M., Ramírez H., Lucino C., Liscia S. (2015). Caracterización de la cavitación mediante procesamiento digital de imágenes y medición de aceleraciones en un modelo físico de turbina Kaplan. IV Simposio sobre Métodos Experimentales en Hidráulica, La Plata, Argentina.

Mundet A., Escaler X., Hidalgo V.H. (2019). Numerical simulation of cavitation in a Francis runner under different operating conditions. 3rd International Symposium of Cavitation and Multiphase Flow.