

RESUMEN: En el siguiente trabajo se muestra el caso de estudio de las turbinas Kaplan de la central hidroeléctrica Yacretá. Luego de 20 años de funcionamiento se observaron patrones de erosión por cavitación en el anillo de descarga, aguas abajo de los álabes del rodete. El patrón observado consiste en 24 zonas discretas equiespaciadas, en coincidencia con el número de álabes del distribuidor. El avance de la erosión en el anillo incrementó las horas fuera de servicio de las unidades para su mantenimiento lo que motivó estudiar y entender el fenómeno físico que provoca la modulación de la erosión en el anillo de descarga para idear estrategias de mitigación. En este trabajo se presenta la metodología empleada en el caso de estudio, que consiste en el abordaje mediante simulación numérica (CFD) y experimentalmente en modelo físico y prototipo.

Palabras clave: turbina Kaplan, cavitación, erosión y anillo de descarga.

METODOLOGÍA

La metodología se apoya en 3 pilares: la simulación numérica, los ensayos de modelo en escala reducida y los ensayos en el prototipo.

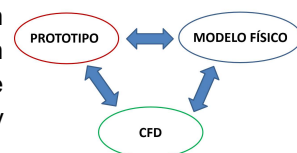


Fig.1- Metodología de estudio.

PROTOTIPO: Se realizaron dos campañas de mediciones en la central hidroeléctrica. Se instalaron sensores de presión y acelerómetros en el anillo de descarga (Fig.2- izq.). Los ensayos fueron realizados en forma escalonada desde la potencia mínima hasta potencia máxima de operación.

MODELO FÍSICO: Se realizaron ensayos en escala 1:27.94 con un rodete de $D_M = 340 \text{ mm}$. Se instrumentó el modelo con sensores de presión y acelerómetros en ubicaciones coincidentes a las campañas de medición en prototipo. Se utilizó una cámara de alta velocidad para cuantificar el volumen de cavitación.

CFD: El software utilizado fue el ANSYS CFX. Las simulación implementada fue del tipo transitoria bifásica con un paso de tiempo equivalente a 0.05° de rotación.

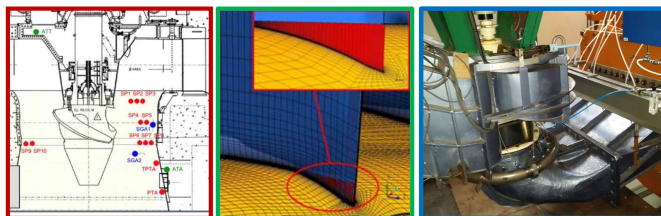


Fig.2- Izquierda: Medición en prototipo. Instrumentación con sensores de presión y acelerómetros ($D_p=9.5m$). Centro: CFD. Detalle del mallado para captar las estelas generadas por el distribuidor. Derecha: Modelo físico a escala reducida instalado en el banco universal de ensayos de la UNLP.

RESULTADOS

Los ensayos experimentales se utilizaron para encontrar la configuración adecuada del CFD y validar los resultados. Se compararon las presiones fluctuantes en el anillo de descarga y el volumen de cavitación de extremo de álabes.

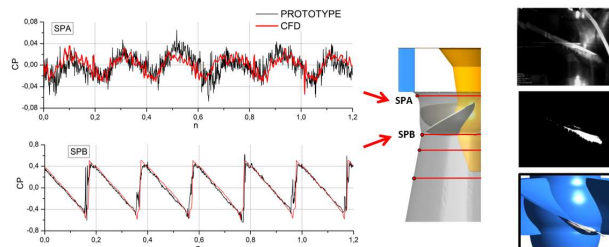


Fig.3- Validación de los resultados numéricos. Izquierda: Pulsaciones de presión medidas en el anillo de descarga vs las calculadas en CFD. Derecha: Volumen de cavitación de extremo de álabes en modelo físico y CFD.

Una vez validados los resultados numéricos, se estudió el fenómeno de interacción entre las estelas del distribuidor y la cavitación. Se observó que el volumen de cavitación oscila con la frecuencia de pasaje del distribuidor ($f_d=24f_r$). También, se detectó la aparición intermitente de un volumen de cavitación sobre el anillo de descarga en fase con las paletas del distribuidor.

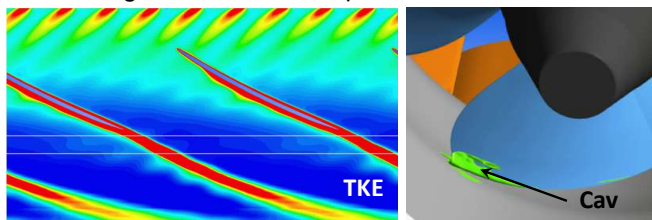


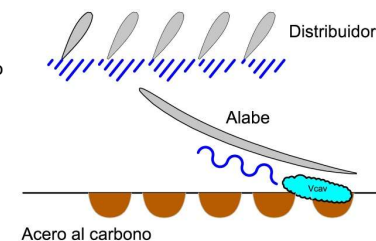
Fig.4- Izq: Interacción entre las estelas del distribuidor y álabes del rodete en un desarrollo cilíndrico para $r/R=0,9$. Der: Cavitación de extremo de álabes. El volumen de vapor fluctúa con la frecuencia de pasaje del distribuidor.

CONCLUSIÓN

La campaña de medición en prototipo y los ensayos experimentales permitieron configurar y validar las simulaciones numéricas. Se encontró la relación entre la cavitación de extremo de álabes, los álabes del distribuidor y la erosión en el anillo de descarga (Fig.5). Conclusiones principales:

- Las estelas originadas por el distribuidor generan una fluctuación del escurrimiento en la zona del borde de fuga de los álabes del rodete con una frecuencia de $24f_r$.
- El volumen de cavitación de extremo de álabes oscila la frecuencia $24f_r$.
- Se produce la aparición intermitente de una cavidad de vapor sobre el anillo de descarga en posiciones discretas coincidentes con el patrón de erosión observado en prototipo.

Fig.5- Modelo conceptual de interacción entre el flujo saliente del distribuidor, la cavitación de extremo de álabes y la erosión en el anillo de descarga.



BIBLIOGRAFÍA

- Nennemann et al, 2007. *Kaplan turbine blade and discharge ring cavitation prediction using unsteady CFD.*
Rivetti A et al, 2014. *Guide vane influence over pressure fluctuation at the discharge ring in a Kaplan turbine: Experimental assessment.*