

1. Introducción

El Banco de Ensayos que se encuentra en el Departamento de hidráulica de la Universidad Nacional de La Plata es una instalación destinada a realizar ensayos de modelo físicos a escala reducida de todo tipo de turbomáquinas hidráulicas, ya sean Kaplan, Francis, Pelton, así como también bomba turbinas bombas. Son importantes los estudios realizados en modelos de escala reducida para validar un diseño realizado mediante un software o para estudios con fines diagnósticos especialmente vinculados al comportamiento de las turbomáquinas fuera de las condiciones de diseño. El equipamiento del Banco de ensayos de turbomáquinas hidráulicas, se compone de una parte dedicada al control y calibración necesaria para poder reproducir el punto de funcionamiento deseado y la otra parte es la requerida para la adquisición de las variables específicas de cada ensayo, como por ejemplo, para medir vibraciones, pulsaciones de presión etc.

En esta oportunidad se utilizará como ejemplo para describir la metodología de trabajo un ensayo de cavitación de un modelo físico de escala reducida de la central de Yacyretá que cuenta con turbinas tipo Kaplan.

2. Objetivo

Describir las tareas que involucran la puesta a punto, funcionamiento, operación y adquisición de datos e ilustrar los resultados obtenidos en forma de gráficos y registro de imágenes en un banco de ensayos para un modelo físico de escala reducida de la central hidroeléctrica Yacyretá. Para llegar a resultados válidos es necesario seguir un método de trabajo que se inicia con el montaje del modelo, tareas de mantenimiento predictivo o correctivo, calibraciones y por último puesta en marcha.

3. Descripción Banco de Ensayos:

Circuito cerrado
Potencia del generador del modelo: 180 Kw
Potencia de la bomba: 300 Kw
Caudal máximo: 900 l/seg.
Salto máximo de la bomba: 50m
Volumen de agua contenido en el circuito: 35m³
El sistema de control es mediante: Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA)

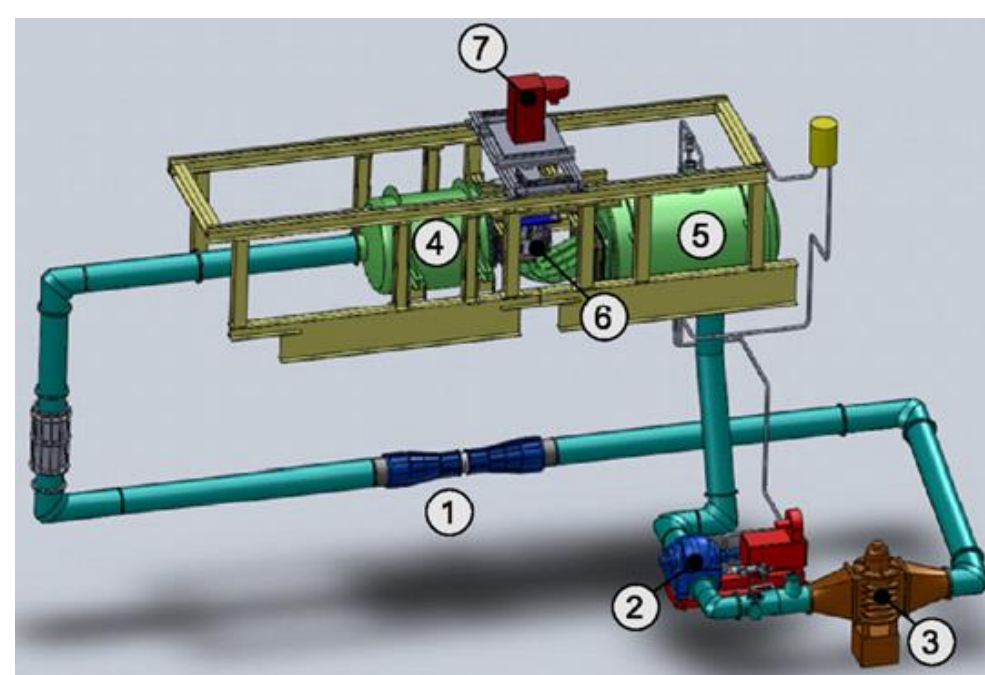


Fig.1. (1) Medidor de flujo Venturi; (2) Bomba; (3) válvula de disipación; (4) Tanque de alta presión; (5) Tanque de baja presión; (6) Modelo de la turbina Kaplan; (7) Generador

3.1 Líneas de alimentación

En el Banco de ensayos se identifican tres líneas principales de alimentación para los distintos sistemas. Una de estas líneas es de aire a presión, necesaria para el sistema de lubricación del eje de la máquina, las válvulas de seguridad de la bomba de vacío e inyectora. La segunda línea es de agua, la cual sirve para la refrigeración del sello mecánico. La tercera línea de alimentación es eléctrica, necesaria para los motores principales, bomba inyectora, bomba de vacío y motores paso a paso que se encuentran en el banco de ensayos.

4. Metodología de trabajo.

4.1 Puesta a punto

Para llegar a resultados válidos se tiene que seguir un orden de trabajo con la guía de la norma IEC 60193 y las leyes de similitud. Se comienza con la verificación si el modelo físico puede ser ensayado, las limitantes son la capacidad de la bomba, por su salto y caudal, y geométricas ya que el modelo no podría entrar entre los tanques y el generador. Si el modelo físico puede ser instalado se realizan las adaptaciones de la cámara espiral y tubo de aspiración al tanque de alta y baja presión respectivamente. Concluidas las tareas de montaje se comienza con las calibraciones de los instrumentos de medición:

- 1) Sensor diferencial de presión de delta P del Venturi.
- 2) Torque principal.
- 3) Torque friccional (parásito).
- 4) Sensor diferencial de presión para medición del SALTO NETO.
- 5) Sensor diferencial de presión para cálculo de SIGMA.
- 7) Calibración de apertura del distribuidor.
- 8) Calibración del sensor de temperatura.
- 9) Calibración de la velocidad de rotación.
- 10) Calibración del pozo volumétrico.

Ensayos que pueden realizarse en un Banco de prueba

- 1) Ensayos de cavitación
- 2) Ensayos de Presiones fluctuantes
- 3) Ensayos de empuje axial
- 4) Ensayos de embalamiento
- 5) Ensayos Winter-Kennedy
- 6) Ensayos de Torque en paletas de distribuidor
- 7) Ensayos de Torque en álabes (Turbinas Kaplan)
- 8) Ensayos especiales: Vibraciones y emisión acústica

4.2 Ensayos: Cavitación

Como ejemplo se tomará un ensayo de cavitación.

El propósito de este tipo de investigaciones es determinar la variación de los parámetros básicos, para diversos grados de desarrollo de la cavitación vinculada con el nivel de sumergencia de la turbomáquina, así como el valor de cavitación crítica, a fin de definir sus condiciones de instalación y el grado de seguridad a la erosión por cavitación.

Los ensayos de cavitación se realizan sobre el modelo, colocando a una determinada inclinación el álabe del rodete y apertura de la paleta directriz (distribuidor), operando el modelo a una velocidad y altura de carga constante mientras se varía la presión absoluta del circuito cerrado del banco de prueba para que cambie el coeficiente sigma de cavitación Sigma de Thoma expresado como:

$$\sigma = \frac{H_{atm} - H_v - H_s}{H_u}$$

H_{atm} = altura de presión barométrica.

H_v = altura de presión de vapor de agua.

N_r = Nivel de restitución.

H_s = Altura de sumergencia:

H_u: Salto útil. N_e – N_r – pérdidas por energía cinética.

En dicho ensayo, la presión absoluta se va disminuyendo de a pequeños saltos hasta que el rendimiento comienza a caer. El comienzo de la cavitación puede determinarse de distintas maneras:

- Por el cambio en el rendimiento.
- Por la observación visual de las burbujas en los álabes del rodete.
- Por la observación y medición de los ruidos y vibraciones que acompañan el funcionamiento de la máquina.

Mediante iluminación estroboscópica el fenómeno de cavitación puede ser observado, o utilizando una cámara de alta velocidad filmado durante los ensayos.

4.3 Adquisición de datos: utilización de acelerómetros en un ensayo de cavitación

Se utilizó un acelerómetro marca Endevco montado en el plano medio del rodete para estudiar la variación de la vibración según el sigma. El muestreo y el procesamiento se realizó con software de LabVIEW.

5. Resultados

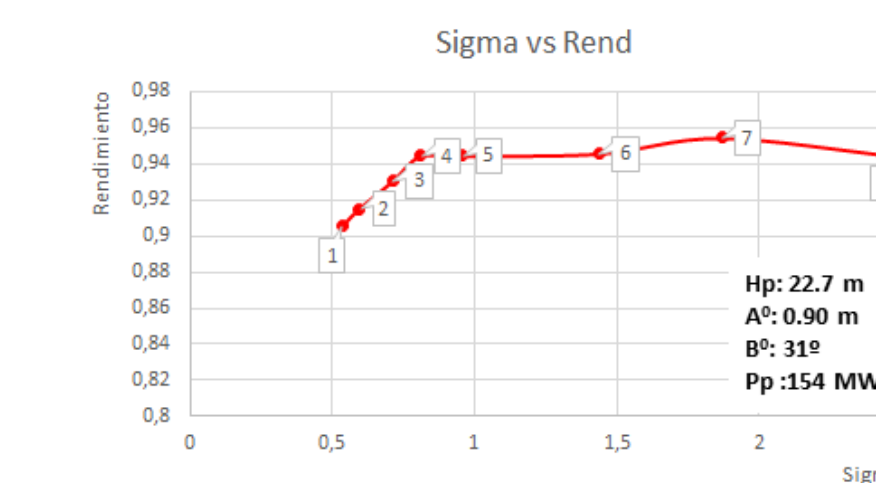


Gráfico 1. Sigma vs. Rendimiento



Gráfico 2. Desvío estándar VS. Sigma

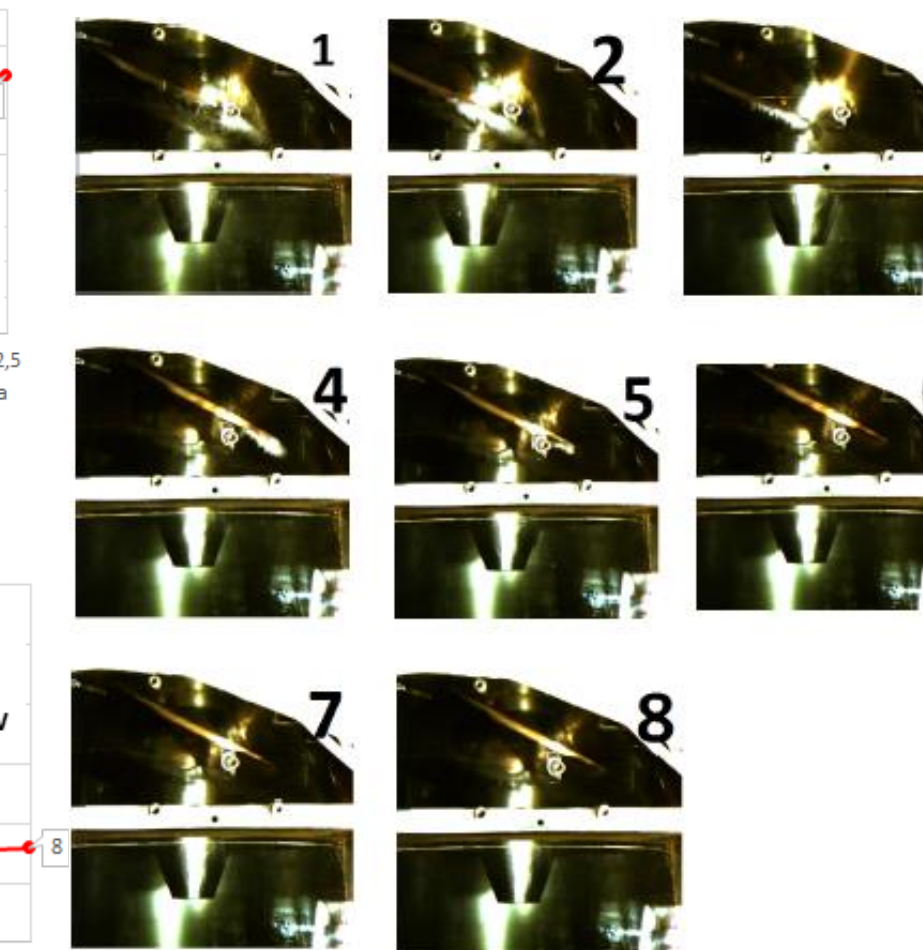


Fig. 2. Se observa la evolución de la cavitación desde un sigma alto (8), hasta uno bajo (1)

La numeración de las figuras corresponde a la numeración en los gráficos 1 y 2

En el gráfico 1 se observa la caída de rendimiento a medida que el valor de sigma es más pequeño y un aumento en la cavitación localizada en este caso en los extremos de los álabes. En el gráfico 2 se utiliza la herramienta estadística del desvío estándar para cuantificar la variación de la aceleración en los puntos de ensayos. Como se observa en el gráfico, a un sigma más bajo y por lo tanto mayor cavitación, se acompaña por un aumento del desvío estándar lo que significa un aumento en los niveles de vibración.

6. Conclusión

La importancia de contar con un modelo físico radica en poder corroborar o rectificar el diseño de un prototipo o predecir el comportamiento del mismo en determinadas condiciones de funcionamiento. Los modelos se utilizan por lo general en las etapas de diseño y certificación de una turbomáquina, sin embargo, puede seguir siendo útil, como en el caso del modelo de la turbina de Yacyretá, realizar ensayos de investigación con el fin de mejorar el funcionamiento del prototipo. Para lograr resultados válidos se tiene que seguir una metodología de trabajo no solo siguiendo la norma sino realizando mantenimiento a las instalaciones y realizando las calibraciones de los instrumentos de la instalación.

Bibliografía: Norma internacional IEC 60193