

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN COMPONENTES DE TURBINAS KAPLAN EN OPERACIÓN

Guillermo Alejandro Mudry¹, Roberto Nicolás Schuster², Gabriel Alejandro Tarnowski³

¹Universidad Nacional de Misiones (UNAM), Argentina, guillermo.mudry@fio.unam.edu.ar

²Universidad Nacional de Misiones (UNAM), Argentina, schuster@fio.unam.edu.ar

³Universidad Nacional de Misiones (UNAM), Argentina, gabriel.tarnowski@fio.unam.edu.ar

INTRODUCCIÓN

Las turbinas Kaplan de gran potencia constituyen sistemas complejos, donde las condiciones de carga y operación generan esfuerzos significativos sobre los elementos estructurales.

El conocimiento de los esfuerzos y deformaciones que actúan sobre los componentes críticos de estas turbinas constituye un elemento esencial para la evaluación de su integridad estructural y la optimización de las estrategias de mantenimiento.

No obstante, la obtención de información experimental directa sobre dichos parámetros ha sido históricamente limitada, debido a la complejidad que implica instrumentar componentes en operación sumergida, sujetos a rotación, vibraciones y condiciones de acceso altamente restringidas.

Con el propósito de superar estas limitaciones, se desarrolló un sistema autónomo de medición capaz de registrar los esfuerzos y deformaciones que actúan sobre elementos críticos del rodete durante la operación normal de la máquina. El sistema fue diseñado para funcionar de manera continua, en condiciones sumergidas y sin interferir con el desempeño hidráulico ni mecánico de la unidad.

El objetivo principal de este trabajo es presentar el desarrollo, implementación y validación de dicho sistema de monitoreo, orientado a obtener información experimental confiable para la correlación con modelos numéricos y la evaluación de la integridad estructural de las uniones críticas del rodete.

Los resultados obtenidos constituyen una base de conocimiento relevante para la aplicación de metodologías de mantenimiento predictivo y monitoreo estructural en turbinas Kaplan de gran potencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema de monitoreo fue desarrollado con el objetivo de registrar, de manera autónoma y confiable, los esfuerzos y deformaciones que actúan sobre elementos clave, como ser espárragos y tuercas de unión en un rodete de una turbina Kaplan durante su operación normal. El diseño consideró la necesidad de obtener datos en condiciones sumergidas, rotantes y sin posibilidad de acceso, garantizando la integridad de la información por períodos prolongados.



Figura 1.-Ejemplo de la instrumentación con galgas extensométricas en espárragos.

Requisitos principales

Se establecieron los siguientes parámetros de diseño:

- Medición de deformaciones mediante galgas extensométricas instaladas en espárragos seleccionados.
- Registro continuo de datos durante al menos 15 días y almacenamiento seguro por 12 meses.
- Operación confiable bajo agua, con rotación y vibraciones.
- Protección ambiental y mecánica para evitar pérdida o degradación de señales.

- Verificar que los sistemas montados no alteren las condiciones de balanceo de la unidad.

Instrumentación y adquisición

Los espárragos fueron instrumentados con galgas extensométricas conectadas a módulos de adquisición miniaturizados, sellados con resinas epoxi de alta resistencia dieléctrica. Las galgas, permitieron inferir los esfuerzos de tracción en los elementos de unión. Se complementó la instrumentación con sensores adicionales en el cubo del rodete y transductores de presión en el circuito hidráulico del servomotor, a fin de correlacionar presiones de apertura y cierre con las cargas estructurales registradas.

Las señales fueron adquiridas por un sistema autónomo instalado en el propio rodete, diseñado para operar sin conexión externa. La alimentación eléctrica se realizó mediante baterías encapsuladas en módulos estancos, capaces de funcionar bajo presión hidrostática y aceleraciones centrífugas a velocidad nominal. Los encapsulados de acero inoxidable aseguraron la estanqueidad y la protección mecánica del conjunto.

Calibración y validación

Cada canal de adquisición fue calibrado individualmente en banco mediante cargas patrón, verificando linealidad y repetibilidad. Se realizaron ensayos de estanqueidad y vibración para confirmar la robustez del sistema antes del montaje.

Durante las pruebas de campo, las mediciones de deformación fueron correlacionadas con las variaciones de presión en el servomotor, confirmando la coherencia y confiabilidad de los registros obtenidos.



Figura 2.- Sistema autónomo de medición.

RESULTADOS

El sistema de monitoreo operó de manera estable durante las pruebas, registrando las deformaciones y presiones requeridas sin pérdida de datos.

Los registros obtenidos permitieron caracterizar el comportamiento dinámico de los elementos instrumentados y correlacionar los esfuerzos medidos con las condiciones hidráulicas de operación, validando la confiabilidad del sistema y generando una base experimental útil para futuros análisis numéricos y estructurales.

CONCLUSIONES

El sistema desarrollado demostró la viabilidad de instrumentar componentes críticos de una turbina Kaplan bajo condiciones reales de operación, obteniendo mediciones confiables de esfuerzos y deformaciones.

La experiencia permitió validar los procedimientos de instalación, sellado y calibración, confirmando la estabilidad de los registros en ambiente sumergido.

Los resultados obtenidos aportan información fundamental para la evaluación de integridad estructural y el desarrollo de estrategias de monitoreo y mantenimiento predictivo en unidades hidroeléctricas de gran potencia.

REFERENCIAS

Strain Gauges: First choice for strain measurements, <https://www.hbm.com/fileadmin/mediapool/hbmdoc/technical/S01265.pdf>

G.A. Mudry, G.A. Tarnowski, R.N. Schuster (2025) Monitoreo De Fisuras En Componentes Mecánicos De Turbinas Kaplan En Central Hidroeléctrica Yacretá Mediante Sensores Para La Evaluación De La Confiabilidad Operativa. XX ERIAC