

Sistema de Monitorización y Control del Rendimiento de Centrales Hidroeléctricas



¿POR QUÉ MONITORIZAR EL RENDIMIENTO DE LAS TURBINAS?

La monitorización del rendimiento aporta la información necesaria que le permitirá:

- Optimizar el rendimiento de las instalaciones
- Detectar pérdidas de rendimiento y planificar las intervenciones de mantenimiento más adecuadas
- Verificar en todo momento el rendimiento de las turbinas

MCRHidro® es un sistema de monitorización permanente cuya misión es la medida y el control del rendimiento de centrales hidroeléctricas. El sistema recopila datos del estado de diferentes parámetros y calcula la eficiencia de las instalaciones en tiempo real. Permite el control de un único grupo o de la totalidad de los grupos de una central, así como de todas las centrales de una cuenca.

La información obtenida con MCRHidro® asiste al personal de planta en la toma de decisiones, permitiéndoles responder a cuestiones tales como:

- ¿Está operando la planta a rendimiento máximo?
- ¿Cuántas son las pérdidas de la instalación?
- ¿Es posible una mejora energética mediante la sustitución de alguno de los componentes?
- ¿Se están cumpliendo las garantías del fabricante?

La generación de energía hidroeléctrica es uno de los métodos más antiguos de generación de energía y una parte fundamental de la producción mundial de electricidad. Las centrales hidroeléctricas tienen largos ciclos de vida, donde algunas instalaciones siguen funcionando después de más de 100 años. Disponiendo de respuestas para este tipo de preguntas, el personal de la central puede optimizar en gran medida sus resultados económicos.

ASPECTOS RELEVANTES

¿En qué se basa una central hidroeléctrica?

Una central hidroeléctrica es una instalación que aprovecha la transición brusca de una masa de agua situada inicialmente en un nivel energético superior, a un nivel con un contenido energético menor, produciéndose cambios en los parámetros que definen el mismo, esto es: posición, velocidad y temperatura.

¿Qué rendimientos podemos evaluar en una instalación hidroeléctrica?

El rendimiento o eficiencia en una central hidroeléctrica es el cociente entre la energía de salida y la energía de entrada del elemento en cuestión (circuito, alternador, turbina, grupo, etc.). La determinación de estos rendimientos requiere por tanto la medida y el cálculo de una serie de parámetros, tales como: potencia

eléctrica, pérdidas, caudales, salto neto, salto bruto, salto estático, velocidades, aceleración de la gravedad, densidades, cotas, etc. En la figura de la derecha se presentan, para el caso concreto de una central con conducción forzada, algunos de estos parámetros.

- **Rendimiento de la turbina (η_t):** se define, en función de potencias (P), por la expresión:

$$\eta_t = \frac{P_{\text{salida turbina}}}{P_{\text{entrada turbina}}}$$

Potencia de entrada a la turbina (P_e):

$$P_e = \rho \cdot g \cdot Q_t \cdot H_n$$

Donde

ρ = densidad del agua

g = aceleración local de la gravedad

Q_t = caudal turbinado

H_n = salto neto

Potencia de salida de la turbina (P_t):

$$P_t = P_a + \delta_a + \delta_v + \delta_c + \delta_g$$

Donde

P_t = potencia en el eje de la turbina

P_a = potencia en barras del alternador

δ_a = pérdidas del alternador

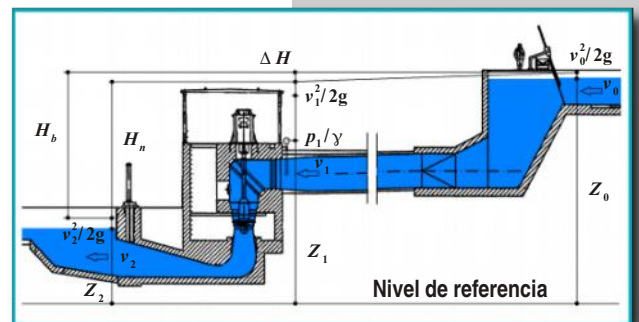
δ_v = pérdidas en volantes de inercia

δ_c = pérdidas en cojinetes

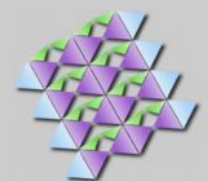
δ_g = pérdidas en engranajes

Con lo cual la expresión del rendimiento de la turbina, expresado en %, queda como:

$$\eta_t (\%) = \frac{P_a + \delta_a + \delta_v + \delta_c + \delta_g}{\rho \cdot g \cdot Q_t \cdot H_n} \times 100$$



ASIng
Servicios de Ingeniería. S.L.



Sinais
Ingeniería de mantenimiento

- **Rendimiento del circuito hidráulico (η_h):** el circuito hidráulico es el elemento de transporte del fluido, su eficacia se mide en términos de pérdida de carga y se define como:

$$\eta_h = \frac{P_{hn}}{P_{ht}} = \frac{H_n}{H_T}$$

Donde

- P_{hn} = potencia hidráulica neta
- P_{ht} = potencia hidráulica total disponible
- H_n = salto neto
- H_T = salto total

- **Rendimiento del alternador (η_a):** es la relación entre la potencia eléctrica desarrollada por el alternador (P_a) y la potencia mecánica absorbida por el mismo (P_{ma}).

$$\eta_a = \frac{P_a}{P_{ma}}$$

- **Rendimiento del grupo (η_g):** es el rendimiento del conjunto turbina-alternador.

$$\eta_g = \eta_t \cdot \eta_a$$

- **Rendimiento total de la instalación (η_I):** se define como la relación entre la potencia eléctrica desarrollada por los alternadores (P_a) y la potencia hidráulica total disponible (P_{ht}).

$$\eta_I = \frac{P_a}{P_{ht}}$$

¿Por qué interesa conocer los rendimientos de una central hidroeléctrica?

El conocimiento de los diferentes rendimientos de una central hidroeléctrica, dotada de uno o varios grupos turbina-alternador, se traduce en una mejor explotación de la misma mediante la optimización del aprovechamiento del agua disponible. Adicionalmente, sirve para realizar un seguimiento del estado de la unidad, cuyo desgaste y deterioro, en cada momento, se traduce en una pérdida de rendimiento de la instalación. Se enumeran a continuación algunos de los beneficios que permite el conocimiento de los rendimientos:

- Maximizar la energía producida por la planta.
- Determinar el grado de cumplimiento de las garantías contractuales ofertadas por el fabricante.
- Determinar, en máquinas de doble regulación, la correlación óptima de aperturas (leva) entre palas del rodete y álabes del distribuidor.
- Determinar en turbinas Pelton la secuencia óptima de funcionamiento de inyectoras.
- Evaluar la posibilidad de una mejora energética mediante la sustitución de alguno de los elementos de la turbina, por ejemplo, mediante el cambio del rodete.
- Evaluar la importancia del sistema de aireación de la turbina, en las prestaciones de la máquina.
- Controlar el grado de deterioro de las conducciones con el paso del tiempo.
- Verificar el cumplimiento de las garantías de diseño y construcción del circuito.
- Conocer las pérdidas de carga que se producen en los diferentes elementos de la instalación.
- Valorar las alteraciones producidas en el rendimiento como consecuencia de reparaciones o modificaciones realizadas.
- Determinar el caudal turbinado por cada uno de los grupos de la instalación.

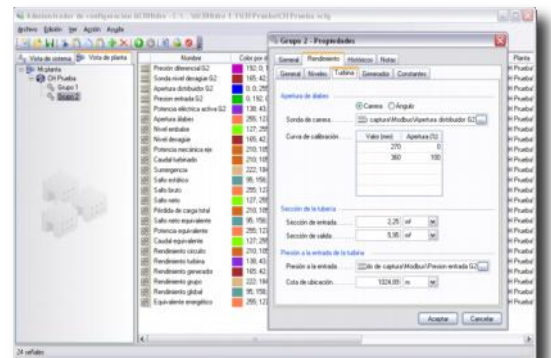
ARQUITECTURA

El sistema MCRHidro® se compone de un servidor Microsoft® Windows NT/2000/2003®, un conjunto de equipos de captura de señales ubicados en la planta y uno o varios clientes de monitorización distribuidos en puestos de operador.

Proporciona una arquitectura integrada y escalable que se ajusta a las necesidades de una pequeña instalación hidroeléctrica de la misma forma que a grandes sistemas de múltiples instalaciones distribuidas geográficamente y que requieran la captura de enormes cantidades de información en tiempo real. Para ello, incorpora la capacidad de añadir nuevos objetos y funciones rápida y fácilmente, proporcionando una escalabilidad excepcional.

¿Cómo se configura el sistema?

El Administrador de Configuración proporciona un entorno estructurado y de fácil uso para la definición de un sistema completo. De una forma similar al explorador de archivos de Windows, todos los elementos del sistema están disponibles en una única ventana. Los usuarios pueden configurar rápidamente los equipos, los parámetros de la captura, las alarmas y la recolección automática de datos.



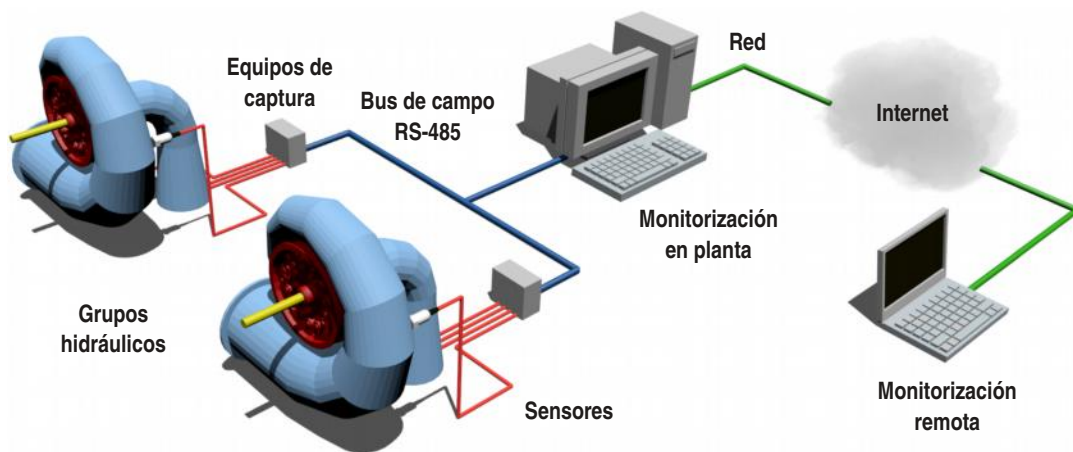
El Administrador de Configuración es una aplicación de uso intuitivo, que incorpora menús contextuales, copiar/pegar, drag-and-drop (arrastrar y soltar), hyperlinks, accesos rápidos (shortcuts), etc.

Al incorporar un entorno de configuración centralizado para todo el sistema, el mantenimiento y la expansión del mismo no requieren cambios costosos, lo que permite a las empresas decrementar sus costes de mantenimiento y responder rápidamente a cambios o problemas. Además, la incorporación de nuevos equipos puede realizarse fácilmente sin afectar al resto de equipos de la planta.

¿Cómo se gestionan los datos medidos?

El servidor MCRHidro® monitoriza de forma continua los datos de planta procedentes de los equipos de captura, para registrarlos en la base de datos. Paralelamente, sirve a las aplicaciones de monitorización la información tanto en tiempo real como histórica de las señales que estos le demanden.





Despliegue de componentes de la arquitectura de MCRHidro®

El almacenamiento de datos demanda un sistema de gestión de base de datos, pero el sistema no está vinculado a una base de datos particular, sino que es compatible con las principales bases de datos del mercado: Oracle®, MySQL®, MS SQL Server®, etc. No es, por tanto, necesario en la mayoría de los casos, instalar un software de base de datos adicional, lo que acelera el proceso de puesta en marcha.

¿Cómo se capturan las señales?

Las mediciones se realizan mediante equipos de captura compactos y robustos que han sido diseñados para el trabajo en ambientes industriales. Estos equipos se encargan de capturar y procesar las señales de las máquinas para su envío al Servidor MCRHidro® a través de un bus de campo RS-485.

¿Qué señales se miden?

Para poder analizar correctamente la eficiencia de una instalación hidroeléctrica, es necesario realizar diferentes cálculos basados en la medida de las siguientes variables físicas, aunque no todas ellas son imprescindibles:

- Caudal turbinado. Mediante un método absoluto (p.e. sistema permanente de ultrasonidos) o uno relativo (índice (p.e. Winter-Kennedy))
- Nivel en la cámara de carga
- Nivel en el desagüe
- Apertura: álabes del distribuidor, palas del rodete, inyectores
- Presión estática a la entrada de la turbina
- Potencia generada en el alternador
- Temperatura del agua

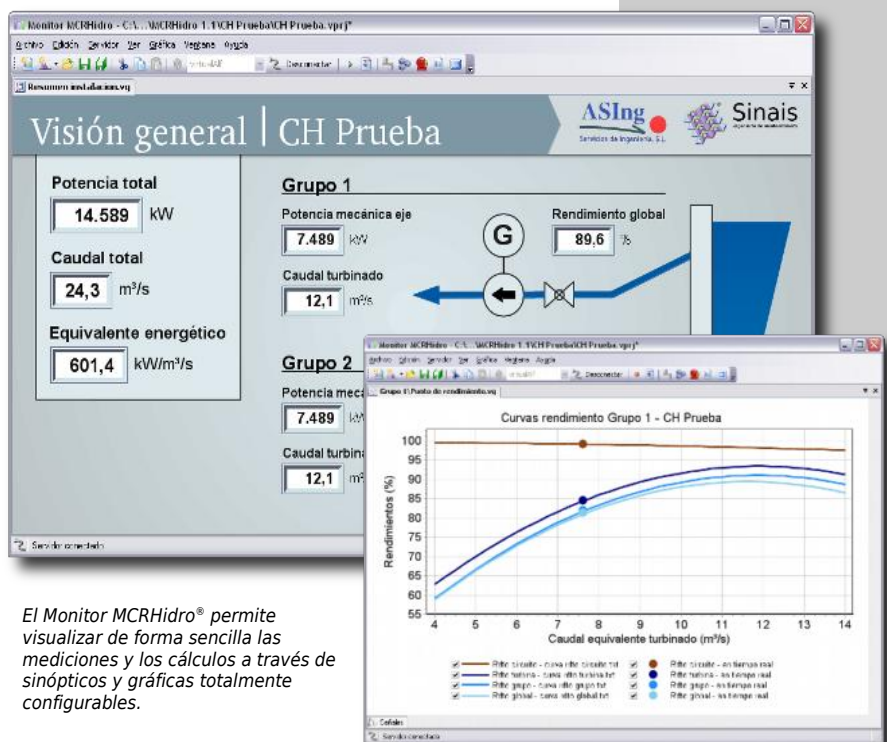
¿Qué resultados se obtienen?

Con la medición de las señales mencionadas en el apartado anterior se realiza el cálculo de las siguientes variables:

- Caudal turbinado
- Sumergencia
- Saltos estático, bruto y neto
- Pérdida de carga total
- Salto neto equivalente
- Potencia equivalente
- Caudal equivalente
- Rendimiento del circuito hidráulico
- Rendimiento de la turbina
- Rendimiento del generador
- Rendimiento del grupo
- Rendimiento global de la instalación
- Equivalente energético

¿Cómo se monitorizan los resultados?

Utilizando el Monitor MCRHidro®, el personal de mantenimiento podrá acceder a la información en tiempo real e histórica de los equipos y señales configurados en el sistema. La aplicación puede ser personalizada para que diferentes usuarios accedan de forma rápida y precisa a la información que necesitan, y del modo en que desean verla.



El Monitor MCRHidro® permite visualizar de forma sencilla las mediciones y los cálculos a través de sinópticos y gráficas totalmente configurables.

El software MCRHidro® ofrece herramientas de análisis y visualización en formatos fáciles de usar y fáciles de entender. Ejemplos de este tipo de información histórica y en tiempo real incluyen:

- Gráfico sinóptico global de la instalación
- Gráficos sinópticos de mediciones, rendimientos y variables calculadas por cada grupo de generación
- Gráficos de punto de rendimiento
- Gráficos de tendencias

Además, el software ofrece las siguientes características avanzadas:

- Navegación mediante hipervínculos, que permite acceder a las propiedades de los elementos interrelacionados.
- Formateo avanzado de gráficas: colores, fuentes, fondos, líneas, bordes, títulos, ejes, alarmas.
- Almacenamiento de gráficas y configuraciones de

visualización en formato XML, que permite una distribución sencilla de la apariencia y los contenidos.

- Entorno multiventana.
- Fácil personalización del entorno.
- Posibilidad de cambiar magnitudes y unidades.
- Potentes herramientas de consulta de datos históricos.
- Cómodos paneles de navegación para permitir organizar la información de forma jerárquica.
- Ejecución multihilo que permite procesar grandes cantidades de información con un rendimiento óptimo.

¿Se adapta MCRHidro® a todo tipo de instalaciones hidroeléctricas?

Sí, las premisas fundamentales que han guiado el desarrollo de MCRHidro® son la versatilidad y la funcionalidad del mismo; de tal forma que, el sistema se adapta a todo tipo de instalaciones, esto es:

- Turbinas de acción y turbinas de reacción.
- Turbinas con y sin conducción forzada.
- Centrales con uno o varios grupos.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

A continuación se muestran las especificaciones técnicas más relevantes.

Especificaciones	MCRHidro®	Comentarios
Sistema		
Entradas	Caudal absoluto o presión diferencial Nivel en la cámara de carga Nivel en el desagüe Aperturas (álabes, palas, inyectores) Presión estática a la entrada de la turbina Potencia generada en el alternador Temperatura del agua	No todas las entradas son necesarias dependiendo de las características de la instalación.
Pantallas de resultados	Sinóptico global de cada instalación Sinópticos de mediciones, rendimientos y variables calculadas por cada grupo Punto de rendimiento de cada grupo Gráficos históricos de evolución de variables	
Capacidad	Hasta 20 grupos de generación por cada servidor	
Bases de datos compatibles	Oracle®, MySQL®, MS SQL Server®	
Equipos de captura de señales		
Canales	8 en modo diferencial por cada módulo	Es posible añadir hasta 20 módulos de 8 canales, o bien, adquirir las señales directamente vía Modbus RTU.
Tipo de entradas	En tensión o corriente	
Rango de entrada	±150 mV, ±500 mV, ±1 V, ±5 V, ±10 V ±20 mA, 4~20 mA	
Impedancia de entrada	Tensión: 20 MΩ Corriente: 120 Ω	
Comunicación de red	Ethernet v2.0, IEEE 802.3, TCP/IP, 10/100baseT	Autodetección 10/100 Mbps, half/full duplex
Consumo de corriente	1,2 W @ 24 V _{DC}	