



## ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DEL REGULADOR DE VELOCIDAD DE LAS TURBINAS DE YACYRETA

**Autor: Ing. Marcelo La Carrubba**

**Entidad Binacional Yacyretá**

**Paraguay**

### RESUMEN

Teniendo en cuenta la obsolescencia de los Reguladores de Velocidad instalados en la Central Hidroeléctrica Yacyretá y las dificultades atravesadas en cuanto a los sistemas Kaplan de las Turbinas 01, 14 y 15, la Entidad Binacional Yacyretá decidió adquirir un "Paquete de Emergencia", el cual incluía un nuevo sistema de control del Regulador de Velocidad, ofreciendo varias ventajas en relación al original. En ese sentido, cabe destacar que el equipamiento mencionado, cuenta con un moderno hardware y software de control, el cual permitiría “minimizar la cantidad de movimientos de álabes de las turbinas”, además de una “alta flexibilidad” para realizar ajustes a través de algoritmos, a efectos de cumplir con los requerimientos de Cammesa y Ande.

Cabe señalar que el mencionado "Paquete de Emergencia" fue proveído por la empresa VOITH, incluyendo la actualización de los Sistemas de Control de los Reguladores de Velocidad para las 20 unidades generadoras, contando con el siguiente equipamiento:

Tablero del VGC de la turbina ubicada en la sala de control local, con todos los elementos necesarios (PLC Siemens S7-300, interfaz de comunicación Profinet, las tarjetas de entradas y salidas digitales/analógicas, HMI con un display LCD de 15” del tipo “touchscreen”, etc).

Además se proveyeron: tableros remotos, 2 (dos) transductores de posición lineal para medir la apertura de las paletas del distribuidor, 2 (dos) transductores de posición lineal para medir la apertura de alabes del rodete, 2 (dos) sensores de proximidad inductivos y 1 (uno) magnético para medición de la velocidad, transductor de presión para verificar posición de servomotores de álabes, transductor de presión para verificar posición de servomotores paletas del distribuidor, carcasa del Cabezal Kaplan, transductor de Potencia Activa y sensor de nivel del Tanque de Presión.

Cabe destacar que el equipamiento mencionado se instaló satisfactoriamente en las Unidades 04, 06 y 18. Las próximas unidades en la cuales se realizarán las actualizaciones son las Unidades 09 y 20. En resumen, en este trabajo se describen los detalles del reemplazo del Sistema de Control y equipamiento adicional del "Regulador de Velocidad" de las Turbinas de la Central Hidroeléctrica Yacyretá, por uno de última generación.

### PALABRAS CLAVES

HMI (Interfaz Hombre Máquina); PLC (Controlador Lógico Programable); VGC (Gabinete del Regulador de Velocidad Voith); Profinet (protocolo de red industrial basado en Ethernet); TIC (Tablero de control de la turbina)

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante los años 2014 y 2015, se presentaron eventos significativos en las Unidades 01, 14 y 15, relacionados al Sistema Kaplan de las Turbinas. Debido a estos acontecimientos y a una inspección técnica, la Entidad Binacional Yacretá decidió adquirir nuevos sistemas de control de los Reguladores de Velocidad, por obsolescencia y sobre todo a efectos de minimizar la cantidad de movimientos del mecanismo de álabes. Cabe señalar que el paquete adquirido por la EBY incluyó equipamiento para las 20 unidades generadoras. El modelo del regulador adquirido fue el HyCon Serie400, fabricado por VOITH.

Las primeras dos unidades (18 y 06) fueron montadas por personal de VOITH con la activa participación del personal de la EBY, destacando que las 18 unidades restantes quedaron a cargo del personal de la EBY.

## 2. TAREAS GENERALES DE LA ACTUALIZACIÓN:

Las tareas de instalación en la Unidad 18, se realizó en el mes de octubre de 2015 y en términos generales consistieron en:

**2.1 Instalación del Tablero del VGC de la turbina ubicada en la sala de control local (cota 64):** cuenta con todos los elementos necesarios para el control digital (PLC Siemens S7-300 con 2 racks a efectos de contar con posibilidad de ampliación, interfaz de comunicación Profinet, tarjetas de entradas y salidas digitales/analógicas, reles, switch, HMI con un display LCD de 15", etc.).

Este tablero es el responsable del control electrónico de la regulación de la turbina y fue reemplazado completamente por otro de nueva generación. Cabe señalar que para la instalación del Tablero, se mantuvieron las mismas señales de interfaz y el cableado duro. La rutina de la tarjeta VCA fue programada en el software del sistema.

Entre otras cualidades, el nuevo VGC permite hacer más eficiente la comunicación con el resto del sistema (remotos TIC y KAPLAN) mediante la utilización de fibra óptica y profinet. El VGC está provisto de un procesador de comunicación que podría comunicarse con un sistema de control de mayor nivel en un futuro próximo.



Figura 1. Nuevo tablero VGC.



Figura 2. HMI



Figura 3. Tablero VGC abierto.

## 2.2 Instalación de Tableros remotos dentro del T.I.C. (Tablero de control de la turbina):

Se optó por hacer una lógica distribuida, instalando tableros remotos a efectos de minimizar la distancia y ruidos de señales de los sensores al VGC.



Figura 4. Tablero remoto instalado dentro del TIC (RRTIC).



Figura 5. Otra Vista del (RRTIC).



Figura 6. TIC

## 2.3 Instalación de 2 (dos) sensores de proximidad inductivos y 1 (uno) magnético para medición de velocidad:



Figura 7. Sensores pick up.

Este sistema permite conocer la velocidad de giro de la turbina mediante dos sensores inductivos vinculados a una rueda dentada montada perimetralmente sobre el eje de la unidad. A este sistema, se le agregó un nuevo sensor que actúa sobre una cinta magnética de control, también montada sobre el eje, a efectos de tener redundancia y menos ruidos en la señal.



Figura 8. Sensor magnético.

## 2.4 Reemplazo del transductor de posición de distribuidor:



Figura 9. Transductor lineal de posición de paletas del distribuidor.

Se reemplazó el transductor de posición angular original ubicado en las bielas, para el efecto se incorporaron 2 (dos) transductores de posición lineal, montados sobre el servomotor del distribuidor, comunicados directamente al TIC por profinet, y de ahí por fibra óptica hasta el VGC. En ese sentido cabe destacar que se introdujo redundancia de transductores a efectos de dar mayor confiabilidad a la medición.

## 2.5 Reemplazo del transductor de posición de álabes del rodete:



**Figura 10. Transductor lineal de posición de álabes del rodete.**

Se reemplazó el transductor de posición angular original de los álabes de la turbina, incorporando para el efecto, 2 (dos) transductores de posición lineal, montados en el cabezal kaplan, comunicados directamente al TIC por profinet, y de ahí por fibra óptica hasta el VGC. Cabe destacar que se introdujo redundancia de transductores.



**Figura 11. Transductor lineal.**

## 2.6 Instalación de sensores de presión para verificar posición de álabes y paletas del distribuidor:



Se optó por instalar este equipamiento para medir la presión de “abrir/cerrar” los servomotores de los álabes y paletas.

**Figura 12. Transductor de presión de “abrir/cerrar” de servomotores.**

## 2.7 Instalación de medidor de nivel y presión de aceite en el Tanque de la sala del Regulator.



Permite controlar la presión de aceite en el sistema de regulación de la turbina.

Se reemplazó el sistema actual por un nuevo medidor de nivel y nuevos sensores de presión de aceite.

**Figura 13. Medidor de nivel de aceite del tanque.**

### 3. ARQUITECTURA

El Regulador de Velocidad digital HyCon 400 tiene una filosofía de arquitectura distribuida, de alta flexibilidad y está basado en controladores y módulos Simatic S7 de Siemens. Combina tecnología de punta con conceptos que han mostrado su fiabilidad y desempeño a lo largo de muchos años.

Los equipos principales de medición (velocidad, posición de paletas y álabes, potencia y frecuencia) son de tecnología moderna y poseen interfaz de red que es utilizada para transmisión de datos al controlador del Regulador. Estos equipos están ubicados de modo a “digitalizar” las señales lo más cerca posible del proceso, disminuyendo eventuales interferencias en las señales. Para el efecto se dispuso de tableros remotos que están en el TIC (Gabinete de Instrumentos de la Turbina) para el monitoreo y o supervisión, los cuales están conectados por un anillo óptico con protocolo Profinet.

La comunicación de los transductores de posición de paletas y álabes se realiza a través de profinet hasta el TIC, de ahí va a través de fibra óptica hasta el VGC. Asimismo, las señales de los sistemas de medición de velocidad (Pick up y encoder con cinta magnética), llegan al TIC y de ahí van al regulador por fibra óptica y profinet.

El VGC a través del PLC del Regulador hace interfaz con los sistemas de control y protecciones, para mandos y supervisiones. En el VGC también están ubicados los amplificadores de señal para las Moving Coil de control de posición de paletas y álabes.

### 4. DIAGRAMA GENERAL DEL REGULADOR DE VELOCIDAD

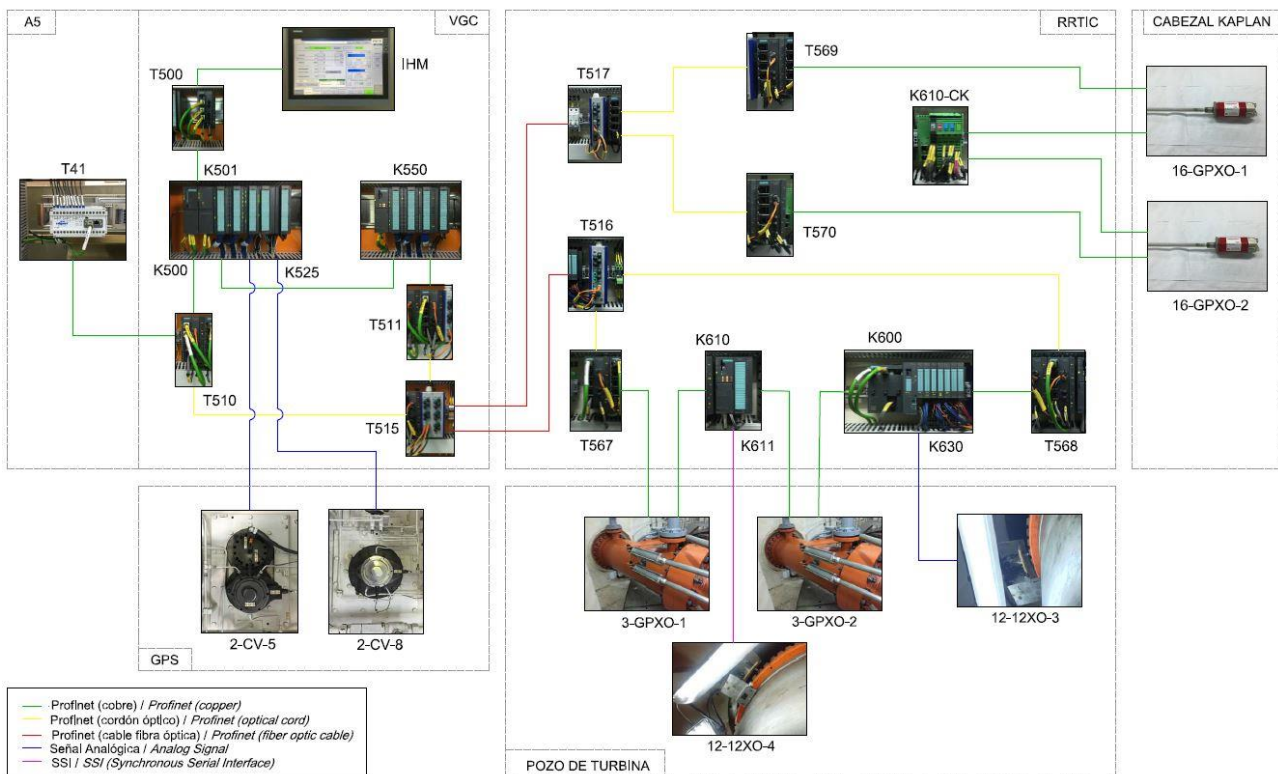


Figura 14. Diagrama del Regulador de Velocidad.

## 5. **HARDWARE**

El hardware del regulador digital de turbina está constituido principalmente por módulos electrónicos programables, el panel de operación HMI, los amplificadores de salida, equipos adicionales requeridos para la captación de valores medidos, el aislamiento y la conversión de señales.

El PLC está constituido por módulos electrónicos de alta calidad industrial, el mismo consta de: chasis principal con procesador, memoria de programas y de datos, módulos de entradas y salidas digitales, módulos de entradas y salidas analógicas y remotas.

El lenguaje de programación del regulador de velocidad digital es del tipo gráfica (Siemens SIMATIC PCS7, paquete CFC), con bloques de funciones lógicas estandarizadas y también con bloques específicos desarrollados por Voith para la aplicación en Reguladores de Turbinas hidráulicas. El programa es totalmente estructurado y modular, permitiendo fácil depuración, alteraciones y expansiones futuras.

El programa del usuario está almacenado en memoria Flash- Eprom (tanto para la CPU del VGC como el Sistema de Detección de Sobrevelocidad ubicado en el TIC) quedando garantizado así que una falla de tensión no origine pérdida del programa. Los módulos de entrada y salida requeridos están asignados de acuerdo a las funciones específicas de la central.

## 6. **OPERACIÓN**

La Operación del Regulador de velocidad se puede realizar en Local o Remoto. Para seleccionar dichos modos hay una llave en la parte frontal del tablero.

El modo de Operación Local es hecho en el propio Tablero del Regulador de Velocidad a través de una Pantalla conocida como “Panel de operación” o HMI.



**Figura 15. Pantalla del HMI**

A través del mismo se acceden a todos los parámetros necesarios para operar el Regulador de Velocidad, además puede mostrar gráficos, estados, alarmas y tiene un teclado con funciones programables.

Para evitar los cambios no autorizados de los valores ajustados, hay una protección a través de nombre de usuario y contraseña. Al encender la HMI o establecer la conexión con lo PLC, se mostrará la pantalla de bienvenida. En el lado derecho de la pantalla principal, hay varios botones que cambian a las pantallas más importantes (Operación, Alarmas, Gráficas Online y Valores Físicos).

## 7. CONCLUSION

La instalación de los nuevos reguladores de velocidad en la Central Hidroeléctrica Yacyretá trajo aparejada una serie de ventajas:

- Hardware abierto y alta robustez de equipamiento.
- Larga disponibilidad de repuestos (Alrededor de 20 años).
- El sistema de control nuevo brinda una mayor versatilidad, alta velocidad de procesamiento, velocidad de respuesta y filtros adecuados que hacen que los lazos de control sean más precisos.
- El equipamiento es compatible con los estándares de comunicación actuales, tienen la posibilidad de comunicación digital con otros tableros de la unidad y sistemas de control de nivel superior.
- Mejora en los lazos de control debido al reemplazo de transductores angulares por lineales de última tecnología que permiten comunicación fibra óptica y profinet, haciéndolos inmunes a variar por ruidos e interferencias electromagnéticas. Además, las ganancias de los lazos de control de Paletas y Alabes pueden ser variables según el apartamiento entre consigna y posición. Esto asegura un control más suave y preciso del posicionamiento de los servos.
- Ofrece la posibilidad de implementar ajustes particulares, para cada unidad generadora, en función de su estado, así también permitirá contar con los programas y algoritmos para operar en Hélice las unidades que así lo requieran.
- La nueva tecnología ayudará a mitigar el problema de la cantidad de movimientos del sistema Kaplan por los nuevos filtros y precisión de la nueva tecnología.
- El Regulador tiene redundancia de transductores, aumentado así la confiabilidad de la unidad generadora.
- Sistema de fácil manejo para la puesta en servicio y mantenimiento, a través de la visualización de parámetros y variables típicas del regulador desde la HMI. Posibilidad de realizar pruebas de los lazos desde la HMI, registro de perturbaciones y gráficos para análisis de falla. Los parámetros del sistema pueden ser chequeados y cambiados sin auxilio de una herramienta de programación externa todos los modos de control.
- Funciones como: Limitador de Apertura de las paletas del distribuidor, limitador de Potencia Activa, así como optimización de la curva OnCam.
- Sistema con auto monitoreo de sus funciones (monitoreo de las funciones de hardware y software).
- Modo de simulación integrado en el controlador (Simulación de Arranque, Parada, Rechazo de Carga, Carga aislada o en red, etc).
- Compatibilidad con las normas Internacionales: IEC Std 60308-1970, International Code for Testing of Speed Governing Systems for Hydraulic Turbines y IEEE Std 1207-2004, IEEE Guide for the Application of Turbine Governing Systems for Hydroelectric Generating Units.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Manual de Mantenimiento del Regulador de Velocidad de la Central Yacyretá.
- [2] Catálogos de Productos Siemens, Phonix Conta