

“Diseño, Instalación y Operación del Sistema de Control de Velocidad para las Unidades a Vapor Tv-2 y Tv-3 de la Central Térmica Ing. Gonzalo Zevallos”

Nicolás Reinaldo Loor Jara ⁽¹⁾
Síxifo Daniel Falcones Zambrano ⁽²⁾
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
nicolas.loor@celec.gob.ec ⁽¹⁾
sixifo@espol.edu.ec ⁽²⁾

Resumen

En la Central Térmica Gonzalo Cevallos, los sistemas antiguos necesitaban funciones manuales para arranque, subidas y bajadas de carga, parada de la máquina, etc. que eran dificultosas para el personal de operación. Los repuestos para estos sistemas eran sumamente costosos debido a que se fabricaban por pedido. El fabricante ya no disponía de personal técnico experimentado para realizar el mantenimiento de los diferentes sistemas. Por lo tanto, fue necesario implementar un nuevo sistema de control de velocidad y carga de las turbinas.

El sistema de control de velocidad y de la carga consiste en asegurar que la velocidad del turbogenerador pueda mantenerse automáticamente constante y que pueda ajustarse durante operación después de la sincronización. Para este efecto, el propósito del proyecto consistió en modernizar estos sistemas Mecánico-Hidráulicos MHI (Mitsubishi Heavy Industries) por un sistema Electro-Hidráulico. El nuevo sistema se centra en un controlador marca Allen-Bradley tipo Controllogix, basado en el concepto universal de control y respetando la filosofía del fabricante. Además está diseñado para recibir comandos a través de una Interfaz Hombre Máquina (HMI). Finalmente se pudo lograr una operación más confiable y segura en las respuestas transitorias originadas por fallas en el sistema eléctrico, la obtención de información para análisis operativo y facilidad en la parametrización por parte de mantenimiento para variar los set point o bloquear disparos no deseados.

Palabras Claves: *Turbina de vapor, Regulador de velocidad, Modernización turbina, Central Térmica Ing. Gonzalo Zevallos G.*

Abstract

At the Gonzalo Cevallos power plant, older systems needed manual functions for startup, increase and decrease of load, machine stop, etc. it was difficult for operating personnel. Spare parts for these systems were very costly because they were made to order. The manufacturer no longer had experienced technical staff for maintenance of the different systems. Therefore, it was necessary to implement a new system of control and charging speed turbines.

The speed control system and the load are to ensure that the speed of the turbine generator can be automatically kept constant and can be adjusted during operation after synchronization. To this effect, the purpose of the project was to modernize these systems Mechanical-Hydraulic MHI (Mitsubishi Heavy Industries) by an electro-hydraulic system. The new system focuses on Allen-Bradley ControlLogix controller type mark, based on the universal concept of control and respecting the philosophy of the manufacturer. It also is designed to receive commands via a Human Machine Interface (HMI). Finally able to achieve a more reliable and secure in the transient responses caused by faults in the electrical system operation, obtaining information for operational analysis and ease of maintenance by parameterization to vary the set point or block unwanted shots.

Keywords: *Steam turbine, Speed controller, Turbine modernization, Thermal Power Ing. Gonzalo Zevallos G.*

1. Introducción

La Central Térmica Ing. Gonzalo Zevallos, cuenta con tres Unidades de Generación: dos a Vapor de 73 MW denominadas TV-2 y TV-3 y una a Gas de 26 MW denominada TG-4. Las Unidades a vapor han estado operando en el sector eléctrico ecuatoriano desde hace 35 años. La operación de la Central estaba basada en tecnología 100 % neumática: mandos, indicadores, bloques de función, transmisores, fabricados con el estándar de 3 a 15 psi para las entradas y salidas.

El control de velocidad de las Turbinas estaba constituido por muchos elementos mecánicos-hidráulicos como engranajes de tornillos sin fin con palancas, gobernador de contrapeso con ajuste de resorte, cambiador de velocidad con pistón diferencial, relé servomotor piloto de aceite con sistema articulado de retroalimentación externa etc., en donde la posibilidad de realizar ajustes de parámetros del sistema solo se podían realizar con la unidad fuera de servicio.

El propósito del proyecto consistió en reemplazar el sistema de regulación de velocidad mecánico Hidráulico por un gobernador tipo electro hidráulico que nos brinda las siguientes ventajas:

- La velocidad de rotación de la turbina es detectada eléctricamente por sensores que convierten la señal de rotación en señales eléctricas (pulsos) los cuales en la tarjeta electrónica del control se convierten en señales de velocidad.
- Los ítems necesarios para un mantenimiento integral son reducidos por el convertidor electrohidráulico y servomotor. Solamente se requiere de 1 o 2 días para realizar inspecciones y limpieza del control con largos tiempos sin falla.
- Toda la operación para llevar a la Unidad desde el rodaje de turbina, hasta la toma de carga inicial (5 MW) es realizada solamente presionando un comando para, incrementar o disminuir el valor del set point desde un panel de control y puede ser fácilmente realizado por un operador. La acción del control es rápida y precisa

El objetivo general consiste en implementar un nuevo diseño para mejorar la operación y el mantenimiento del sistema de control de velocidad.

Entre los objetivos específicos tenemos:

- Mejorar los procesos de arranque y parada de turbina.
- Facilitar cambios en la lógica de control.
- Seleccionar diferentes modos de operación.
- Mejorar las respuestas ante eventos en el Sistema eléctrico.

2. Descripción del sistema y metodología

El propósito del sistema de control de velocidad y de la carga es para asegurarse que la velocidad del turbogenerador pueda mantenerse automáticamente constante durante operación después de la sincronización.

2.1. Sistema de Regulación Mecánico - Hidráulico

El primer paso es definir qué elementos son necesarios para realizar el control de velocidad y carga de las turbinas. Los elementos principales del sistema de regulación mecánico – hidráulico MHI (Mitsubishi Heavy Industries) [1] son: el gobernador con todos sus elementos como la rueda dentada para la transmisión de la señal de velocidad, el motor variador de velocidad, el limitador de carga, el pistón diferencial, Limite de carrera, válvula piloto, brazo de realimentación mecánica de la posición de las válvulas de regulación (GV), cilindro hidráulico para el movimiento de las válvulas de regulación (GV), la válvula principal de vapor (MSV). (Fig. 1)



Figura 1. Gobernador mecánico - hidráulico MHI

Sin carga (de sincronizada), la velocidad de la turbina se determinaba por el ajuste del cambiador de velocidad. Cualquier variación momentánea en la velocidad la detectaba el gobernador de velocidad (Fig. 2), haciendo que el aceite hidráulicamente accione mecánicamente el sistema de apertura o cierre de las válvulas de regulación, entonces la turbina se aceleraba o desaceleraba y así hasta que se mantenga la velocidad deseada.



Figura 2. Transmisión de la señal de velocidad MHI

Cuando el turbogenerador está sincronizado y el generador está trabajando en paralelo con otros generadores en un sistema eléctrico, la velocidad del turbogenerador queda determinada por la frecuencia del sistema, y la carga varía por el ajuste del cambiador de velocidad.

En este caso, si ocurría algún desequilibrio entre la potencia útil total de todos los turbogeneradores en paralelo del sistema y las cargas eléctricas totales de la línea, la frecuencia del sistema fluctuaría, lo que mueve el gobernador a controlar la potencia útil del turbogenerador con el fin de conservar una velocidad constante. Esta fluctuación puede ser inevitable en el sistema eléctrico, pero es inconveniente que por causa de esta fluctuación la potencia útil del turbogenerador se incremente más allá de un límite predeterminado. El limitador de carga, por lo tanto está provisto para que la potencia útil del turbogenerador no pueda sobrepasar los límites predeterminados, aun cuando sea requerido por el sistema eléctrico.

2.2. Sistema de Regulación Electro Hidráulico

El Sistema de Control de Turbina (TCS) se centra en un controlador marca Allen Bradley tipo controllogix en configuración redundante con categoría SIL2, con entradas y salidas Flex I/O. Se integran como parte del control: fuentes de alimentación, interruptores, fusibles, relés, dos módulos de entrada de velocidad Wood Group, un sincronizador automático Wood Ward SPM-D, dos medidores de potencia, marca Allen-Bradley Modelo PM 3000, y terminaciones para las conexiones del cableado en campo. La programación de la lógica en el PLC se lo realizó con el software Rs Logix 5000, la operación está diseñada para que los comandos sean enviados via Ethernet desde una Interface Hombre Máquina (HMI) realizada bajo el software Factory Talk View, se mantuvieron todas las curvas de arranque y la filosofía operativa del fabricante MHI.[2]

El sistema también incluye modificaciones mecánicas de la válvula principal o de paro (MSV) y de la válvula reguladora (GV). El Hardware mecánico incluido para la válvula de paro son: un acople mecánico, un actuador y unidad piloto Exlar y para supervisar la posición de la válvula, un Transformador Diferencial de Variación Lineal (LVDT) marca Everight.

El Hardware mecánico incluido para la válvula reguladora es una válvula proporcional marca MOOG, un "LVDT" marca Everight para supervisar la posición de la válvula y filtros de aceite acoplados en un conjunto del tipo redundante.

También se suministró una base para la instalación de nuevos sensores de velocidad tal como se observa en

la figura 3. Este conjunto incluye tres sensores de velocidad ferro-magnéticos o también llamados pasivos para velocidades mayores a 250 rpm, un sensor de velocidad electro-magnético o también llamado activo, este último, se utiliza para la detección a bajas revoluciones hasta 250 rpm.



Figura 3. Nuevos sensores de velocidad.

El sistema nuevo incorpora dos filtros y una válvula proporcional comandada desde el Controllogix con una señal de 4-20mA, esta válvula proporcional permite la regulación de la presión de aceite hacia la nueva válvula piloto y de ahí al cilindro actuador de las válvulas de regulación (GV) (Fig. 4)

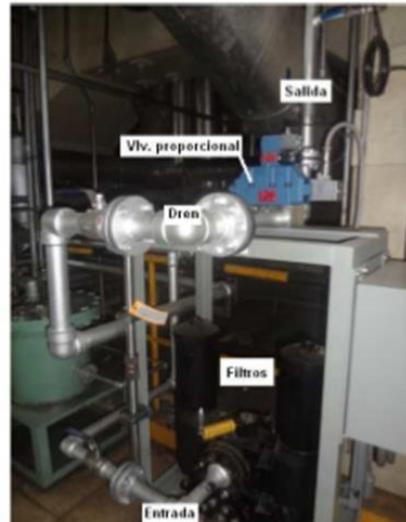


Figura 4. Sistema electro hidráulico para GV

2.3. Estrategias de Control

El Sistema de Control de Turbina (TCS) permite los siguientes modos de control: [3]

- Control de velocidad
- Control de posición de válvula (VPC)
- Control de carga (MWC)
- Control de presión de entrada (IPC)
- Limitador de carga.

2.3.1. Control de velocidad. El control de velocidad es un modo de control Proporcional Integral (PI) que mantiene la velocidad de la turbina en un punto de

referencia de velocidad. Cuando el interruptor del Generador está abierto, el control de velocidad se utiliza para poner en marcha la turbina y sincronizar el Generador o para realizar pruebas de sobre velocidad. Cuando el interruptor del Generador está cerrado (Unidad Sincronizada) la lógica de control incorpora un algoritmo de caída de frecuencia/velocidad (Estatismo) para regular la velocidad de la Turbina con referencia a la frecuencia de la red eléctrica.

Durante las condiciones de puesta en marcha, la referencia de velocidad se establece mediante el modo de operación seleccionado: Manual o Semi-auto. Después que el interruptor del Generador está cerrado, la referencia de velocidad se fija en 3600 rpm automáticamente.

2.3.2. Control de posición de válvula (VPC). Al momento de cierre del interruptor del Generador, el TCS automáticamente cambia de control de velocidad a control de posición de válvula. El control de posición de válvula es realizado por un control PID, el cual utiliza la señal de posición proveniente del transmisor LVDT, la compara con la señal de set referencia (%) y envía la señal de demanda a la GV para controlar la posición de la válvula.

2.3.3. Control de carga (MWC). El control de Potencia Activa del Generador (MW), es realizado por un controlador PI, se utiliza solamente cuando la Unidad está en línea y la señales del transductor de potencia, proveniente del Power Monitor 3000 (redundante) sean válidas, la compara con la señal de ajuste de referencia, y envía la señal a la GV para controlar la carga de la unidad. La lógica también permite la operación en modos: manual y semi-auto.

2.3.4. Control de presión de entrada (IPC). El control de presión de vapor a la entrada de la turbina es realizado por un lazo PI que utiliza la señal de presión de entrada como retroalimentación, la compara con la señal de set referencia (88bar) y envía la señal de demanda a las válvulas de regulación (GV) para controlar la presión.

2.3.5. Limitador de carga. Esta función limita la carga ajustada por el operador en un rango de 0 a 101% de la carga nominal (73MW.), cuando existe un requerimiento externo de potencia debido a la baja de la frecuencia o un rechazo de carga del sistema. El nivel de aceleración se ajusta mediante los comandos de subir o bajar realizados por el operado a razón de 1%/seg.

3. Resultados

La implementación del nuevo sistema de control de velocidad (TCS) cumple con dos objetivos básicos:

3.1. Característica del control electro – hidráulico.

El gobernador de velocidad tiene una respuesta del tipo Proporcional Integral. El ajuste del estatismo (Droop setting) se puede realizar en un rango del 3 al 6.8%. Este valor se ajusta manualmente variando la constante de estatismo en el PLC. La señal de velocidad es una retroalimentación del giro del propio eje de la turbina a través de un piñón dentado y un arreglo de sensores magnéticos (Speedy pickups).

El control cuenta con una banda muerta de +/- 0.1 Hertz: 60.1 Hertz (3606 RPM) y 59.9 Hertz (3594 rpm) para ambas turbinas. Así mismo el valor actual de estatismo (Droop) para las Unidades TV-2 y TV-3 es del 5%.

3.2. Sistema amigable para los operadores.

La arquitectura desarrollada permite toda la funcionalidad requerida para que el nuevo regulador (TCS) pueda realizar las acciones operativas de control de velocidad y carga, para el efecto se dispone de pantallas desarrolladas en Factory Talk View, facilitando las maniobras operativas con la Interface Hombre Maquina (HMI). A continuación una descripción de las principales Pantallas implementadas. [4]

3.2.1. Vista General. Esta pantalla (Fig. 5), es utilizada normalmente por el operador de Sala de Control para realizar la Sincronización del Generador seleccionando el modo Manual o Automático. Desde esta pantalla se puede seleccionar los diferentes modos de control especialmente el Control de Carga (MWC) y el Limitador de Carga.

Las tasas de aceleración del MWC son:

- Baja: 0,5 MW/min
- Media: 1,0 MW/min
- Rápida: 1,5 MW/min



Figura 5. Vista general de la pantalla de la interfaz de Operación.

3.2.2. Secuencia de arranque. Esta pantalla (Fig. 6) está ubicada en el tablero local al pie de la turbina, es utilizada normalmente por el operador de Turbina para cumplir con el proceso de arranque y su operación es de modalidad táctil, aquí se podrá encontrar un listado de requerimientos para obtener el permiso de arranque antes de poder “resetear” la turbina, también permite al operador realizar transferencia de válvulas cuando la velocidad del eje de la turbina alcance las 3400 RPM.

El operador puede hacer selección del modo de arranque, ya sea manual o semi-auto en los siguientes casos: MANUAL si la turbina está en girador (3 rpm) y SEMI-AUTO si la velocidad es mayor a 3 rpm o cuando la velocidad está disminuyendo (luego de un disparo). Durante el arranque se presentan dos rangos de velocidades críticas: a) 1500 -2100 RPM y b) 2800 – 3200 rpm, que se deben pasar en modo rápido y no se debe realizar ninguna maniobra.

Las tasas de aceleración de velocidad disponibles son:

- Lenta: 150 rpm/min
- Media: 200 rpm/min
- Rápida: 300 rpm/min



Figura 6. Pantalla secuencia de arranque.

3.2.3. Sistema de aceite. Esta pantalla (Fig. 7), nos ayuda a conocer de manera muy general, las modificaciones realizadas en el sistema hidráulico para el control de velocidad y carga de la unidad. En esta pantalla se presenta solo el estado de los interruptores de presión y las bombas de aceite.

En la parte superior izquierda se cuenta con un botón para bloquear el disparo de la turbina, llamado ‘INHIBIR DISPARO’ que al activarlo inicia un contador de 30 minutos para que el operador pueda realizar las maniobras de Disparos Simulados.

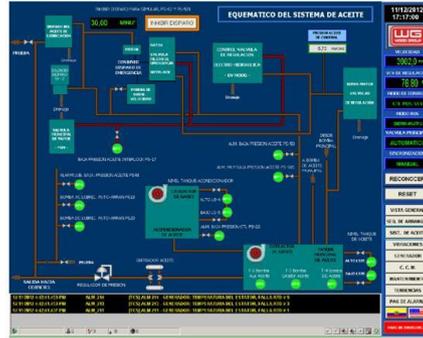


Figura 7. Esquemático del sistema de aceite.

3.2.4. Centro de Control para Motores. En esta pantalla (Fig. 8), el operador puede observar las condiciones eléctricas de los motores que se utilizan en el proceso operativo de la turbina. Así mismo, se puede dar la orden de arranque y paro a los seis que cuentan con el botón llamado “CONTROL”. Al presionar este botón una ventana adicional se abre y cuenta con la opción de seleccionar el control REMOTO/MANUAL lo cual activa los botones de arranque y paro. Cuando se selecciona LOCAL/AUTOMÁTICO el motor encenderá de manera automática* (donde aplique) o de la manija local en campo.

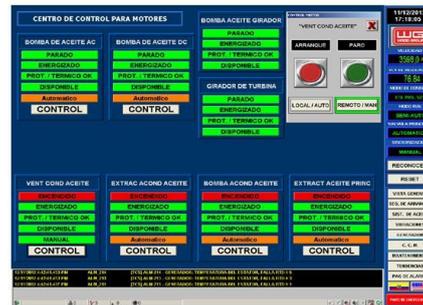


Figura 8. Centro de control para motores.

3.2.5. Paro de Emergencia desde la HMI. El operador cuenta con un botón para hacer un paro de emergencia desde la HMI, este comando, debido a su importancia, requiere de una doble confirmación, por lo que una ventana adicional se abre después de presionar el botón de la parte inferior derecha. (Fig. 9)



Figura 9. Paro de emergencia desde la HMI

4. Conclusiones

Las Unidades de Generación, con la implementación de los nuevos sistemas de control de velocidad (TCS) presentaron las siguientes mejoras operativas:

- El proyecto se trató de una aplicación práctica para las diferentes turbinas a vapor o gas que requerían modernización para obtener mayor información, mejor análisis operativo y equipos más confiables.
- Circuito de control. La velocidad de rotación es detectada eléctricamente (pulsos) en forma precisa por sensores de velocidad, señal que se transmite al sistema de control digital que convierte dichos pulsos en señales de velocidad sin factores de deterioro ni envejecimiento.
- Operativa. La operación que se realizó desde el arranque inicial de turbina (rodado) hasta la velocidad nominal de sincronización, se lo hizo ajustando los valores de referencia por medio de los diferentes comandos y botoneras desde el panel de control centralizado, y pudo ser realizado por un solo operador.
- Mantenimiento y reparaciones. El nuevo sistema de control electro hidráulico permite cambiar de la modalidad Auto a la modalidad Manual en forma automática cuando cualquier anomalía es detectada, además con Unidad en servicio se pueden realizar ajustes en los set point de los diferentes parámetros, como bloquear disparos no deseados por fallas en los elementos transmisores.

- Adecuada velocidad de respuesta ante contingencias en el Sistema Nacional Interconectado (SNI).

6. Bibliografía

- [1] Mitsubishi Heavy Industries (MHI), Manual e instructivos de turbina del fabricante, Japón, 1978.
- [2] Ings: Mauricio Molina A. y Luis Moreno R. Ecuacier, XVII Seminario Nacional del Sector Eléctrico, Cotopaxi, Ecuador, 2013.
- [3] Rockwell Automation, Manual del programa del PLC Controllogix, USA, 2013.
- [4] Wood Group, Seminario sobre el nuevo Sistema de Control, USA, 2012.