

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



## **Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“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”**

### **EXAMEN DE GRADO (COMPLEXIVO)**

Previa a la obtención del grado de:

**INGENIERO EN POTENCIA**

**NICOLÁS REINALDO LOOR JARA**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO: 2015**

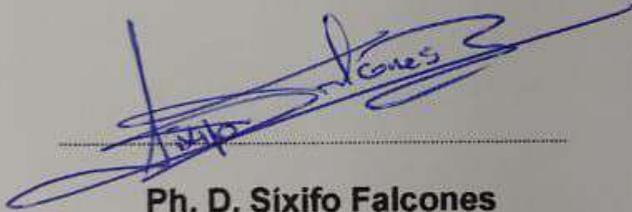
## AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a mis padres: BELDAD JARA M. y NICOLÁS LOOR J.(+) por su apoyo moral y espiritual. A mis hermanos: JAVIER y SUSANA por sus invaluable consejos de luchas, sacrificios y motivación. A mis hijos: DANIEL, XAVY y OMAR por sus ejemplos de superación

## DEDICATORIA

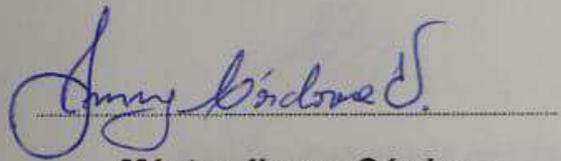
El presente proyecto lo dedico a todos quienes me brindaron todo el apoyo necesario e incondicional

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Sixifo Falcones', written over a horizontal dotted line.

**Ph. D. Sixifo Falcones**

EVALUADOR

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jimmy Córdova', written over a horizontal dotted line.

**Máster Jimmy Córdova**

EVALUADOR

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en este Informe me corresponde exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

  
.....  
Nicolás Reinaldo Loor Jara

## RESUMEN

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 por sus siglas en inglés). 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.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA.....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
INTRODUCCIÓN.....	xii
CAPÍTULO 1.....	1
1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA Y METODOLOGÍA.....	1
1.1 Análisis general del sistema original.....	2
1.1.1 Sistema de regulación mecánico hidráulico.....	2
1.1.2 Control Manual.....	7
1.1.3 Control por Motor.....	8
1.2 Descripción del Sistema Implementado.....	9
1.2.1 Sistema de Regulación Electro Hidráulico.....	9
1.2.2 Disparos y Bloqueo de la Turbina.....	11
1.2.3. Características de los equipos e instrumentos.....	12
1.2.4 Características del Control.....	15
1.2.4.1 Control de posición de la válvula MSV.....	15
1.2.4.2 Lazo de control de velocidad.....	17
1.2.4.3 Lazo de control de potencia .....	18

1.2.5 Estrategias de Control.....	18
1.2.5.1 Control de carga (MW).....	19
1.2.5.2 Control de posición de válvula (VPC).....	20
1.2.5.3 Control de presión de entrada (IPC) .....	20
1.2.5.4 Limitador de carga.....	21
1.3 Arquitectura del sistema.....	21
1.3.1 Válvula Piloto de Emergencia.....	23
CAPÍTULO 2.....	26
2. RESULTADOS.....	26
2.1 Característica del control electro – hidráulico.....	26
2.2 Sistema amigable para los operadores.....	27
2.3 Pantallas operativas.....	27
2.3.1 Vista General.....	27
2.3.2 Secuencia de arranque.....	28
2.3.3 Sistema de aceite.....	29
2.3.4 Datos de Generación.....	31
2.3.5 Centro de Control para Motores.....	32
2.3.6 Alarmas y Disparos.....	33
2.3.7 Historial de alarmas y disparos.....	34
2.3.8 Ventana para la transferencia de válvulas.....	34
2.3.9 Control de velocidad.....	36
2.3.10 Control por porcentaje apertura válvulas reguladoras.....	37

2.3.11 Control por Carga – MW.....	38
2.3.12 Limitador del Gobernador / Carga.....	38
2.3.13 Control Presión de Vapor entrada de la Turbina (P.E.V.).....	39
2.3.14 Paro de Emergencia desde la HMI.....	40
Conclusiones y Recomendaciones.....	42
BIBLIOGRAFÍA.....	44
ANEXOS.....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1: Gobernador MHI.....	2
Fig. 1.2: Transmisión de la señal de velocidad.....	5
Fig. 1.3: Sensor de velocidad.....	10
Fig. 1.4: Arquitectura propuesta del TCS.....	12
Fig. 1.5: Sensor de posición tipo LVDT.....	13
Fig. 1.6: LVDT en campo para la GV.....	13
Fig. 1.7: Válvula GV.....	14
Fig. 1.8: Sistema electro hidráulico para GV.....	15
Fig. 1.9: Válvula MSV MHI.....	16
Fig. 1.10: Válvula MSV transmisor LVDT.....	16
Fig. 1.11: Válvula MSV servomotor.....	17
Fig. 1.12: Power Monitor.....	18
Fig. 1.13: Control PID para MW.....	19
Fig. 1.14: Ajuste de rampa para MW.....	20
Fig. 1.15: Ajuste de rampa para LC.....	21
Fig. 1.16: Tablero de control PCS.....	22
Fig. 1.17: Power Monitor y Sincronizador.....	22
Fig. 2.1: Vista general de la pantalla de la interfaz de Operación.....	28
Fig. 2.2: Pantalla secuencia de arranque.....	29
Fig. 2.3: Esquemático del sistema de aceite.....	30
Fig. 2.4: Pantalla datos de generación.....	31
Fig. 2.5: Centro de control para motores.....	32

Fig. 2.6: Alarmas y disparos.....	33
Fig. 2.7: Historial de alarmas y disparos.....	34
Fig. 2.8: Ventana para la transferencia de válvulas.....	35
Fig. 2.9: Ventana control de velocidad.....	36
Fig. 2.10: Control por porcentaje de apertura de las válvulas reguladoras (VPC, PAV).....	37
Fig. 2.11: Control por carga MW.....	38
Fig. 2.12: Limitador del gobernador/carga.....	39
Fig. 2.13: Control de la presión de vapor a la entrada de la turbina (P.E.V.)...	40
Fig. 2.14: Paro de emergencia desde la IHM.....	41

## 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. El nivel de tensión de salida de los Generadores es de 13.8 Kv, que luego es elevado a 69 Kv a través del Transformador Principal hacia la Subestación. 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 mantenimiento de los sistemas de control era realizado por personal calificado, normalmente del fabricante, lo cual contribuyó a la alta confiabilidad de los primeros 25 años de operación. La mayoría de los lazos de control se encontraban en MANUAL, debido a fallas de los sistemas sin posibilidad de arreglo y por falta de repuestos. La falta de repuestos por parte del fabricante se hacía notar por los tiempos de entrega superiores a 17 meses y costos elevados.

El control 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 fabricante Mitsubishi ya no disponía de técnicos para los servicios de mantenimiento y calibración de parámetros, quedando anulado el soporte de fábrica.[1] La obsolescencia y desgaste de los elementos del control no garantizaban la confiabilidad de la operación normal de las Unidades, tomando de 4 a 5 días realizar el mantenimiento integral del sistema. Se requería de varios operadores para llevar a la turbina a la velocidad nominal, carga inicial, control de la presión de aceite e incrementar la carga hasta su valor nominal. La variación de la presión era inevitable porque el control era proporcional, la presión durante el proceso fluctuaba por la demora en la respuesta del control.

Por lo expuesto se decide 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 eléctricos que convierten la señal de rotación en señales eléctricas (pulsos) los cuales en la tarjeta electrónica del control se convierten en

señales de velocidad, para abrir las válvulas de regulación por medio del circuito de control digital sin factores de deterioro.

- 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 botón, incrementar o disminuir el valor del set point desde un panel de control puede ser fácilmente realizado por un operador. La acción del control es rápida y precisa.

El objetivo general del siguiente proyecto consiste en implementar un nuevo diseño para mejorar la operación 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

## **CAPÍTULO 1**

### **1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA Y METODOLOGÍA**

El alcance de este proyecto consistió en modernizar los Sistemas de Controles de velocidad mecánico hidráulicos Mitsubishi Heavy Industries (MHI) de las turbinas a vapor de las unidades TV2 y TV3 de la Central Térmica Ing. Gonzalo Zevallos, perteneciente a la Unidad de Negocio CELEC EP Electro guayas ubicadas en la ciudad de Guayaquil en el Km 7 ½ vía la Costa.

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 MHI 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, Limit Switch, válvula piloto, brazo de realimentación mecánica de la posición de las válvulas de regulación (GV), cilindro hidráulico para el movimiento de las válvulas GV, La válvula principal de vapor (MSV). (Fig. 1.1).



**Fig. 1.1: Gobernador MHI**

## **1.1 Análisis General del Sistema Original**

### **1.1.1 Sistema de Regulación Mecánico Hidráulico**

El sistema de regulación mecánico - hidráulico del control de velocidad, consiste en: (Anexo 1).

Regulador de velocidad

Cambiador de velocidad

Limitador de carga

Válvula piloto

Conexiones a palancas

Servomotor válvulas de regulación

El aceite de control se suministraba a la cámara que estaba arriba del pistón diferencial, a través de un orificio y era descargado por el huelgo entre el pistón seguidor y la parte superior del regulador (gobernador).

Cuando la Turbina incrementa la velocidad, la parte superior del regulador bajaba y el claro aumentaba, ocasionando que la presión en la cámara baja del pistón diferencial decreciera. Debido a que la presión en la cámara arriba del pistón diferencial era constante, el pistón diferencial se movía hacia abajo, ocasionando que la palanca transmisora del cambiador de velocidad que tenía una articulación en el centro (pivote), cause un movimiento a la válvula piloto hacia arriba. Cuando la válvula piloto se desplazaba hacia arriba un pórtico se abría y el aceite de la válvula del regulador del servomotor era drenado por el pórtico y las válvulas de regulación cerraban, causando que la velocidad de la turbina disminuyera. Un movimiento descendente de la válvula de regulación del servomotor, retroalimentaba a la camisa de la válvula piloto y el pórtico iniciaba el cierre.

Cuando la presión bajo el pistón diferencial se incrementaba este suspendía el movimiento hacia abajo en caso de que la turbina disminuyera la velocidad. El incremento o disminución de carga era realizada girando el cambiador de velocidad manualmente en contra o a

favor de las manecillas del reloj respectivamente, lo cual podía realizarse en forma remota desde la sala de control, por medio de la operación del motor del gobernador.

El limitador de carga estaba también equipado para fijar un límite máximo de carga deseado, girando el volante manualmente. Cuando no era necesario limitar la carga, el limitador debía ajustarse a su máxima posición.

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

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. 1.2), 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.



**Fig. 1.2: Transmisión de la señal de velocidad**

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 variaba 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 estaba

provisto para que la potencia útil del turbogenerador no pueda sobrepasar los límites predeterminados, aun cuando sea requerido por el sistema eléctrico.

De este modo, el limitador de carga ayuda a una operación segura de la caldera y del turbogenerador. El limitador de carga puede fijarse en cualquier valor de carga que se establezca.

El cambiador de velocidad con el volante manual y el motor, controlaban la velocidad de la turbina o carga; el motor era operado desde sala de control, por la manija del interruptor.

El objetivo principal del cambiador de velocidad era:

1. Para sincronizar, la velocidad de la turbina con la frecuencia de la red.
2. Para probar el dispositivo de emergencia por sobre velocidad.
3. Para incrementar o disminuir la carga de la turbina a una velocidad constante.

La apertura de las válvulas de regulación, era ajustada por la válvula piloto y el servomotor. Por lo tanto la carga de la turbina era cambiada por el cambio de velocidad en caso de operación en paralelo y por el cambiador de velocidad en caso de rodaje aislado.

### **1.1.2 Control Manual**

Cuando se necesitaba incrementar la velocidad o carga de la turbina, se debía girar manualmente el volante del cambiador de velocidad en el sentido de las manecillas del reloj. Si la turbina estaba girando sin carga, con el volante del cambiador de velocidad podía incrementarse hasta 3870 rpm (7 % sobre la velocidad nominal). En este caso las piezas del pistón diferencial, el tope superior y el limitador de carrera, previene que la velocidad llegue sólo a 3870 RPM (Limite Superior).

Cuando se requería probar la sobre velocidad del gobernador y el dispositivo de emergencia, se levantaba la pieza superior o “capucha” para liberar el limitador de carrera, luego, girando manualmente en forma gradual, el vástago ascendía y la velocidad se incrementaba hasta llegar al límite de disparo que es 3960 RPM.

Cuando el volante se giraba en sentido contrario, la velocidad disminuye hasta un 5% debajo de la normal a 3420 RPM (Límite Inferior), en este caso, se evitaba que la velocidad siga disminuyendo por el contacto del tope con el limitador de carrera.

### **1.1.3 Control por Motor**

El motor del gobernador (Motor D.C.) podía utilizarse para aumentar o disminuir la velocidad o carga operando la manija del interruptor del motor que se encontraba en el tablero de la sala de control.

El motor y el volante hacían girar el engranaje por medio de un reductor de velocidad, el engranaje permanece fijo girando en el eje, subiendo este para accionar la válvula piloto y el servomotor. El accionamiento del eje que tenía movimiento horizontal, accionaba el micro switch, parando el motor.

Cuando se requería disminuir la velocidad o carga, se efectuaba con el mismo motor, pero en sentido contrario. Por lo expuesto, se comprenderá que la regulación sin carga de la turbina, se podía realizar con el cambiador de velocidad únicamente dentro de los límites de 3415 -3860 RPM, normalmente solo al iniciarse el rodado o arranque de la turbina, el

incremento de la velocidad se efectúa con la válvula de paro o principal (M.S.V.) ya que el paro de la turbina solo se efectúa por disparo.

## **1.2 Descripción del Sistema Implementado**

### **1.2.1 Sistema de Regulación Electro Hidráulico. Diagnóstico de los elementos para el cambio de Instrumentos y sistema Hidráulico MHI por sistemas electrónicos con PLC.**

Esta implementación se realizó utilizando el PLC marca Allen Bradley tipo controllogix en configuración redundante con categoría SIL2, con entradas y salidas llamadas "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 PM3000, y terminaciones para las conexiones del cableado en campo. La programación de la lógica en el PLC se lo realizo con el software Rs Logix 5000, el HMI (Interface Hombre – Máquina) se realizó 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 de paro y de la válvula reguladora. Los mecanismos incluidos

para la válvula de paro son: un acople mecánico, un actuador tipo motor y para supervisar la posición de la válvula, un “LVDT” marca Everight.

Los dispositivos mecánicos incluidos para la válvula reguladora son: una válvula proporcional marca MOOG, un “LVDT” marca Everigth para supervisar la posición de la válvula y filtros de aceite acoplados en un conjunto del tipo redundante (Fig. 1.3).

También se suministró una base para la instalación de nuevos sensores de velocidad tal como se observa en la figura 1.3. 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.



**Fig. 1.3: Sensor de velocidad**

### **1.2.2 Disparos y Bloqueo de la Turbina**

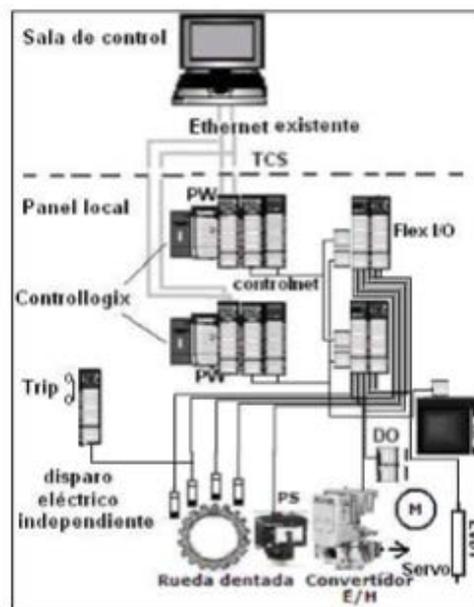
El control de la turbina supervisa los sistemas generando alarmas y disparos correspondientes en condiciones fuera de especificaciones, estos se comunican a ambas interfaces HMI. Así mismo, se proporciona el número del primer disparo “detectado” por el sistema. Es posible que más de un disparo se produzca en una rápida sucesión. La lista de disparos contiene la relación entre ese número entero y una descripción del disparo.

Cuando se muestre algún disparo en el control de la turbina significa que los relés de disparo del solenoide SV-2 y el disparo de la válvula reguladora están des-energizados y no se activaran hasta que todos los paros sean borrados.

Cuando los relés están des-energizados, cierran contactos para energizar estas solenoides, mismas que se utilizan para mover las válvulas para drenar el aceite de Control. Cuando se borran los disparos del TCS se activan los relés de disparo, esto des-energiza las solenoides de disparo y restablecen la presión del aceite de control hacia las válvulas.

### 1.2.3. Características de los equipos e instrumentos

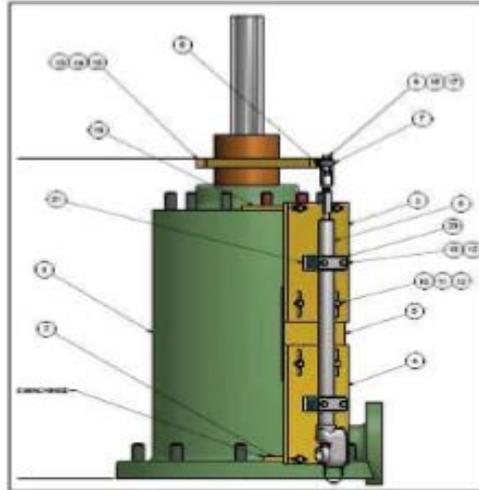
Todas las funciones mecánicas de control realizadas por el Sistema de Regulación MHI, serán realizadas en la lógica programada en el Controllogix [3], como: los set Point de las rampas de arranque - paro de las rampas de subida y bajada de carga, de los limitadores, lógica del control de velocidad, lógica del control de carga, lógica de las protecciones (Fig. 1.4).



**Fig. 1.4: Arquitectura propuesta del TCS**

El control de la posición de la GV, será realizando por un transmisor de posición tipo LVDT (Fig.1.5), el cual ingresa al TCS mediante módulos dedicados a medición de posición (Entradas análogas), el control de posición se realiza mediante un control PID ejecutado dentro del

Controllogix para el rango completo del desplazamiento del cilindro (0-100%) (Fig. 1.6).



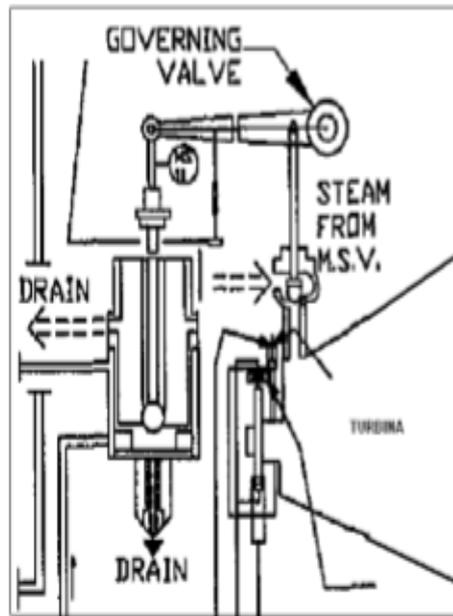
**Fig. 1.5: Sensor de posición tipo LVDT**



**Fig. 1.6: LVDT en campo para la GV**

La GV es una válvula de 6 etapas que se mantendrá (Fig. 1.7), ya que el cambio de esta involucra un costo elevado para el proyecto, sin embargo

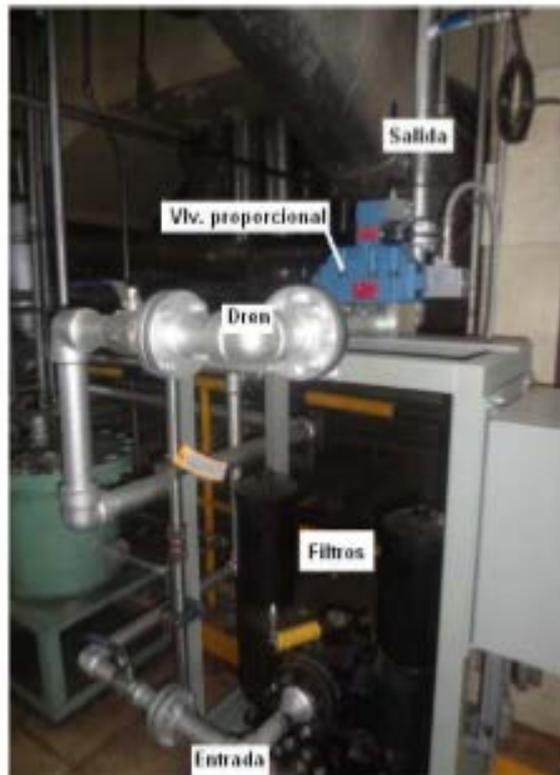
un mantenimiento adecuado por parte de MHI garantizará su funcionalidad.



**Fig. 1.7: Válvula GV**

Para el manejo de esta válvula acoplada al cilindro actuador requiere una presión de 0 a 12 kg/cm<sup>2</sup> la cual es producida por la bomba de aceite auxiliar (480VAC) y luego por la bomba principal de la turbina.

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 la GV (Fig. 1.8).



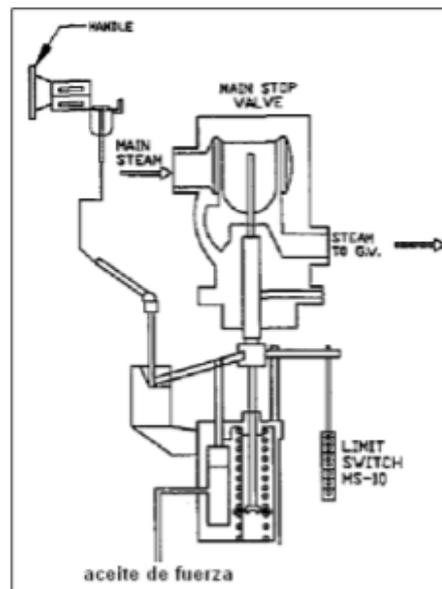
**Fig. 1.8: Sistema electro hidráulico para GV**

## **1.2.4 Características del Control**

### **1.2.4.1 Control de posición de la válvula MSV**

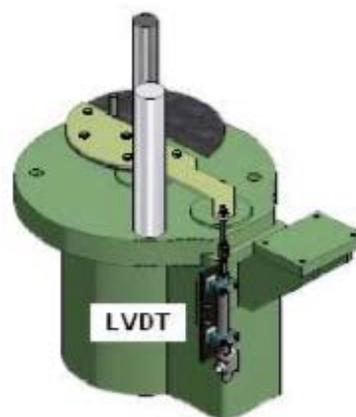
Esta válvula principal de vapor (Fig. 1.9), originalmente se operaba con un volante manual al pie de la turbina, el control de la velocidad era muy complejo y difícil de mantener la velocidad en los valores deseados (set Point). Esta válvula es la que nos permite el arranque de la turbina desde 0 a 500RPM, a

2400RPM, a 3400RPM, para el cambio de válvulas y al final a 3600RPM con la GV para la sincronización de la máquina.



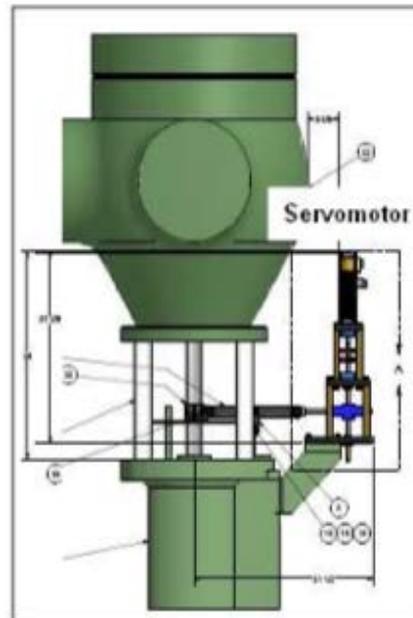
**Fig. 1.9: Válvula MSV MHI**

El control de posición de esta válvula se realiza mediante un lazo PID y como señal de medida de posición un transmisor de posición LVDT (Fig. 1.10), la lógica de este control se lo ejecuta en el Controllogix.



**Fig. 1.10: Válvula MSV transmisor LVDT**

La nueva configuración para manejar esta MSV es con un servomotor (Fig. 1.11) en lugar del volante manual, el cual es comandado desde el Controllogix (Ver Anexo 2).



**Fig. 1.11: Válvula MSV servomotor**

#### **1.2.4.2 Lazo de control de velocidad**

Con estos elementos principales seleccionados e implementados, el control de Velocidad utiliza las señales de los sensores de velocidad (pulsos) y los controles de posición de las válvulas GV y MSV lo que permite regular la entrada de caudal de vapor hacia la turbina, mediante dos lazos PID en cascada el lazo más interno es el lazo de posición de válvulas y el lazo externo es en lazo de control de velocidad con unidad no sincronizada.

### 1.2.4.3 Lazo de control de potencia

Para el control de potencia de la maquina con unidad sincronizada se utiliza un equipo Power Monitor 3000 de Allen Bradley (Fig. 1.12) el cual toma las señales de corriente y voltaje proveniente de los TC y TP existentes del generador eléctrico y ésta información convertida en potencia envía al Controllogix mediante comunicación Control net.



**Fig. 1.12: Power Monitor**

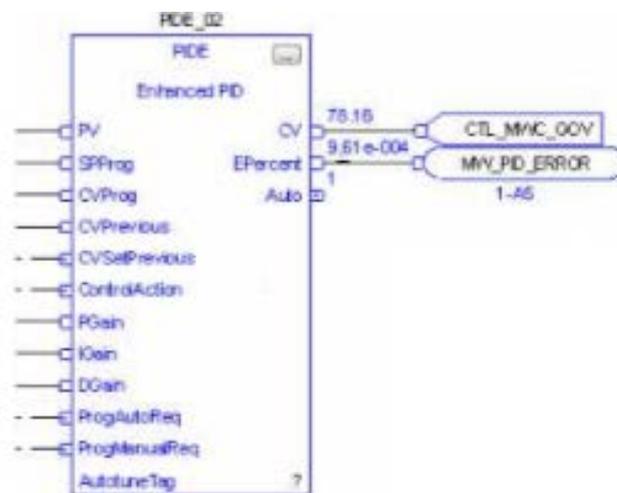
### 1.2.5 Estrategias de Control

Con la información obtenida de los TC y TP del generador, en el PLC la lógica permite los siguientes modos de control:

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

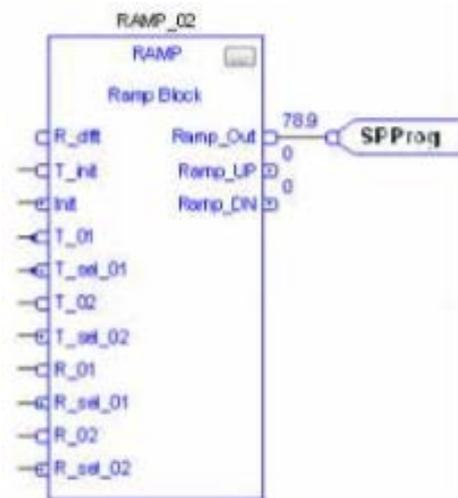
### 1.2.5.1 Control de carga (MW)

El control de MW es realizado por un control PID (Fig. 1,13) el cual utiliza la señal de potencia activa proveniente del Power Monitor 3000 (redundante), 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, semi-auto y automático, para lo cual el control PID es seleccionado desde el panel del operador HMI.



**Fig. 1.13: Control PID para MW**

Para realizar la subida y bajada de carga en manual, automático o semi-auto existe la función rampa que permite variar la referencia como entrada al control PID (set point) (Fig. 1.14) esta función permite el arranque a las diferentes velocidad o tomas de carga para un valor techo en un tiempo determinado, con esto se programan los diferentes procesos en cada una de las etapas.



**Fig. 1.14: Ajuste de rampa para MW**

#### 1.2.5.2 Control de posición de válvula (VPC)

El control de posición de válvula es realizado por un control PID, el cual utiliza la señal de posición proveniente del transmisor LCVT, la compara con la señal de set referencia (%) y envía la señal de demanda a la GV para controlar la posición de la válvula, indirectamente los MW toman un valor, lo cual se muestra en (Anexo 3).

#### 1.2.5.3 Control de presión de entrada (IPC)

El control de presión de entrada a la turbina es realizado por un control PID el cual utiliza la señal de presión de un transmisor PT a la entrada de vapor antes de la válvula MSV. La compara con la señal de set referencia (88bar) y envía la señal de demanda a la

GV para controlar la presión de entrada a la turbina, indirectamente los Ms. toman un valor, dependiendo de la cantidad de combustible que ingresa a la Caldera.

#### 1.2.5.4 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 una rechazo de carga del sistema. Existe en la programación una rampa de referencia igual que los anteriores controles (Fig. 1.15).

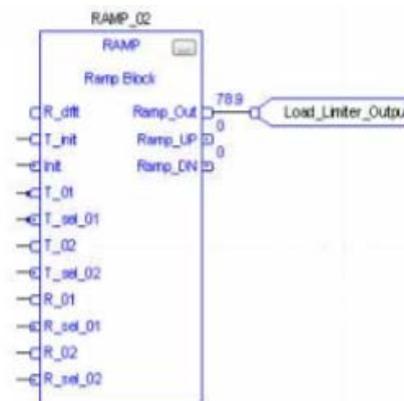


Fig. 1.15: Ajuste de rampa para LC.

### 1.3 Arquitectura del sistema

La arquitectura seleccionada permite toda la funcionalidad requerida para que el TCS. pueda realizar las acciones operativas de control de velocidad y carga (Anexo 4). El sistema TCS está constituido de: dos Grupos controllogix en

configuración redundante, dos fuentes de poder, dos módulos dedicados a la toma de señal de velocidad (Fig. 1.16).



**Fig. 1.16: Tablero de control TCS**

Además, dos Power Monitor 3000 para la medición de la potencia y un grupo de módulos de entradas y salidas para la lectura de información de campo de los demás instrumentos como PS, PT, TS, ZT, XE, además de parte de la medición y seguridad del sistema de control. (Fig. 1.17).



**Fig. 1.17: Power Monitor y Sincronizador**

El sistema electro hidráulico queda configurado tal como se detalla en el (Anexo 5), solo son eliminados los elementos que constituyen el sistema de control, es decir gobernador de velocidad (transmisor de velocidad por engranaje y contrapeso), pistón diferencial (cambiador de velocidad), válvula piloto y limitador de carga, el resto de elementos de protección como válvula solenoide de disparo (SV 2), botón de reset, mecanismo de disparo por sobre velocidad, bajo vacío, baja presión aceite de lubricación, disparo manual y válvula piloto de emergencia, se mantienen. Merece especial atención la válvula piloto de emergencia, por su importancia en la protección de turbina.

### **1.3.1 Válvula Piloto de Emergencia**

La Turbina esta provista de mecanismos de seguridad por posibles accidentes que pueden causar daño a la Unidad. Los dispositivos de protección para disparar la Turbina son los siguientes:

- 1.- Disparo por Sobre velocidad
- 2.- Disparo Manual
- 3.- Disparo por baja presión aceite de lubricación
- 4.- Disparo Remoto (Sala de control)
- 5.- Disparo por bajo vacío
- 6.- Disparo por falla Generador
- 7.- Disparo por desgaste cojinete de empuje (Posición del Rotor).

La válvula Piloto de Emergencia opera en todos los casos arriba mencionados para los tres primeros ítems la válvula opera o es liberada, mecánicamente, y para los siguientes cinco ítems es liberada por drenaje de aceite. (Energizando la válvula Solenoide SV 2). (Anexos 6 y 7).

Cuando la aldaba es liberada, la Válvula Piloto de Emergencia es empujada hacia arriba por un resorte y todos los pórticos de aceite se abren, los mismos que se mantienen cerrados en operación normal. La apertura de esos pórticos causa que el aceite bajo el pistón del servomotor se drene hacia el pedestal a través de dos pórticos bajo la Válvula piloto de emergencia.

Los servomotores de la Válvula Principal de Vapor (MSV) y de Regulación (GV) toman rápidamente su posición mínima, esto es, las Válvulas de Regulación y principal de Vapor cierran totalmente. Cuando el mecanismo de emergencia opera y dispara la Turbina, primero se deben maniobrar los volantes de la válvula principal de vapor y de Regulación hasta su posición totalmente cerradas y luego mantener el botón de resete, presionado hasta que el aceite de alta presión entre En la cámara superior de la válvula piloto de emergencia y la Turbina sea reseteada.

Si el disparo es debido por sobre velocidad, la turbina no puede ser reseteada hasta que la velocidad disminuya y el mecanismo de disparo por sobre velocidad retorne a su posición normal luego la turbina es reseteada y lista para operar nuevamente.

Como todos los disparos son finalmente transmitidos a la válvula piloto de emergencia es necesario hacer que periódicamente la válvula trabaje normalmente (Disparos simulados).

Hay tres posiciones "RESET", "TEST "y "TRIP "marcadas sobre la capsula de plástico en la parte superior de la válvula piloto de emergencia.

## **CAPITULO 2**

### **2. RESULTADOS**

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

#### **2.1 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 estadismo para las Unidades TV-2 y TV-3 es del 5%.

## **2.2 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]

## **2.3 Pantallas operativas**

### **2.3.1 Vista General**

En esta pantalla (Fig. 2.1), se puede encontrar una vista general de lo que compete al control de velocidad y carga para la turbina a vapor. Desde esta pantalla se puede acceder al control de: Velocidad, Carga, Posición de Válvula, Limitador de Carga y Control de Presión de Entrada.

Así mismo, se encuentra la selección de los modos de operación, como son: - Control por apertura de válvula, (posición porcentual de 0 - 100%).

- Control por carga (Referencia de Mega-Watts).
- Control por presión de entrada de vapor a la turbina (Referencia de Kg. /cm<sup>2</sup>).

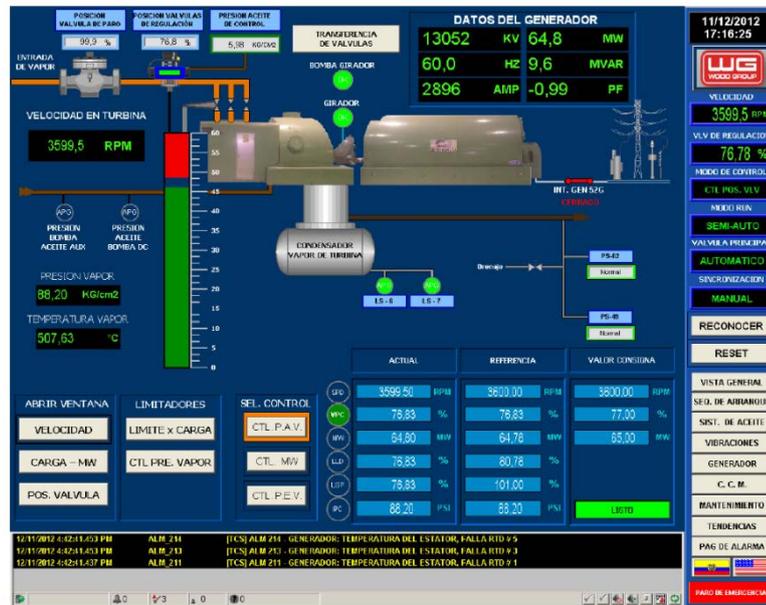


Fig. 2.1: Vista general de la pantalla de la interfaz de Operación

### 2.3.2 Secuencia de arranque

Esta pantalla (Fig. 2.2) es una de las más importantes para el arranque de la turbina, aquí se podrá encontrar un listado de requerimientos para obtener el permiso de arranque de la unidad, este listado muestra las condicionantes a cumplir 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.

Actualmente el operador puede hacer selección del modo de arranque, ya sea manual o semi-auto en los siguientes casos: MANUAL si la turbina esta en girador (3RPM) 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.



Fig. 2.2: Pantalla secuencia de arranque

### 2.3.3 Sistema de aceite

Esta pantalla (Fig. 2.3), 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 se cuenta con un botón para bloquear el disparo por baja presión de vacío, este botón que se llama 'INHIBIR DISPARO' inicia un contador de 30 minutos para que el operador pueda realizar las maniobras de Disparos Simulados. El operador puede activar y desactivar este modo presionando el botón directamente. Así mismo, en la parte superior derecha se observa una lectura de presión de aceite de control. Esta presión corresponde a lo que se está entregando al servomotor de las válvulas de regulación, o dicho de otra manera, la presión de salida del electro-válvula gobernadora marca MOOG. Este valor de presión puede variar desde cero hasta 12 Kg. /cm2 aproximadamente.

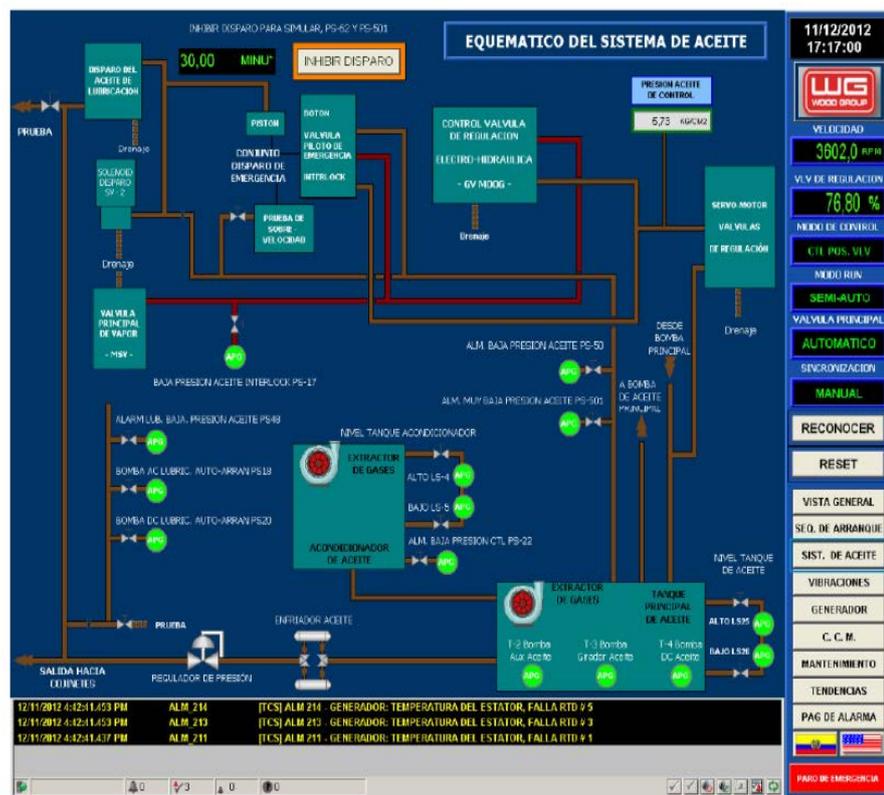


Fig. 2.3: Esquemático del sistema de aceite

### 2.3.4 Datos de Generación

Esta pantalla (Fig. 2.4) muestra los datos eléctricos del generador, las temperaturas de los gases de enfriamiento y las temperaturas de los devanados del estator.

Sincronización del generador: Cuando el interruptor del generador (52G) se encuentre abierto, el operador de la sala de Control tiene dos opciones y es aquí donde se hará la selección del modo en que el interruptor será “cerrado”. : Manual o Automático.



Fig. 2.4: Pantalla datos de generación

### 2.3.5 Centro de Control para Motores

En esta pantalla (Fig. 2.5), el operador puede observar las condiciones eléctricas de los motores, aquí presentes. Así mismo, se puede dar la orden de arranque y paro 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 palanca loca en campo.

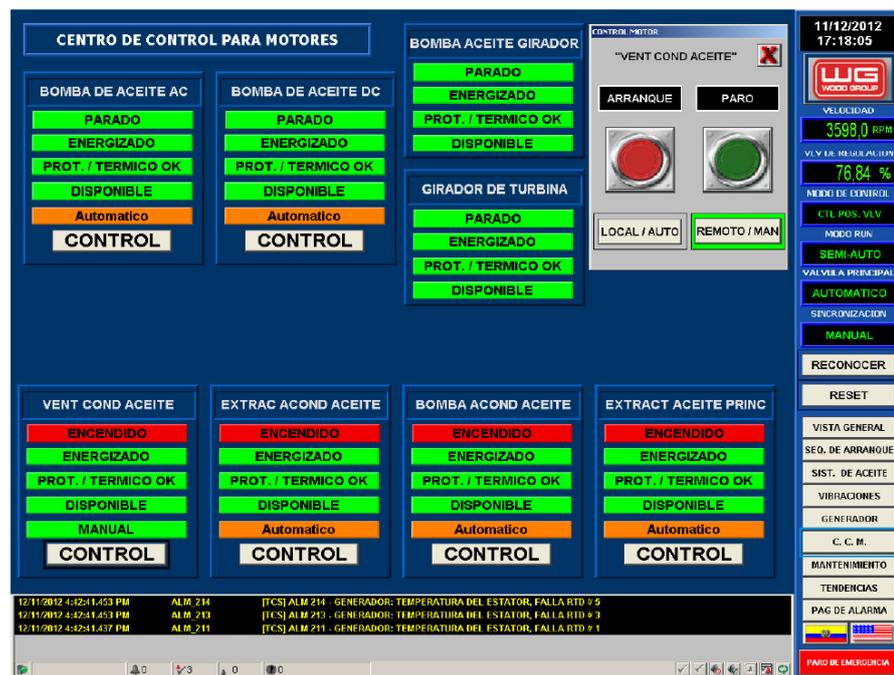


Fig. 2.5: Centro de control para motores

### 2.3.6 Alarmas y Disparos

En esta pantalla (Fig. 2.6), el operador encuentra el listado de las alarmas y paros; sean vigentes o no. Las ALARMAS son de color AMARILLO y los PAROS son de color ROJO. Cuando una alarma del TCS ingresa a la IHM, esta es considerada como “nueva” lo cual hace que sea intermitente (parpadeo) en su color respectivo. Una vez que el operador admite esta alarma, presionando el botón de ‘RECONOCER’ esta pasa a un estado de reposo y será mostrada sin animación.

Cuando las condiciones de alarma y/o paro no existan, estas pueden ser borradas de la página presionando el botón de ‘BORRAR’. En el caso del paro por baja presión de aceite de disparo PS-17 [TCS PARO 023], se cuenta con 30 segundos de retardo después de presionar el botón de BORRAR/RESET. Aquí mismo se tiene el botón para abrir el HISTORIAL DE ALARMAS Y DISPAROS.



Fig. 2.6: Alarmas y disparos

### 2.3.7 Historial de Alarmas y Disparos

Esta pantalla (Fig. 2.7), presenta de forma cronológica la sucesión de eventos de alarma y disparo, estas son retenidas por un periodo máximo de 365 días o en su defecto una saturación de 12000 eventos.

Hora Evento	Nombre Alarma	Mensaje
11/29/2012 10:01:36.297 PM	TRIP_015	[TCS] PARO 015 - DISPARO CALDERA: COMANDO PARO MFT
11/29/2012 10:01:36.150 PM	TRIP_015	Acknowledged alarm [TRIP_015] in alarm server [RNA://Local/SGMB001_Electroguayas_CD1:TAGAE] using remote contr
11/29/2012 10:01:34.030 PM	TRIP_015	[TCS] PARO 015 - DISPARO CALDERA: COMANDO PARO MFT
11/29/2012 9:50:26.797 PM	TRIP_023	[TCS] PARO 023 - BAJA PRESION DE ACEITE DE CONTROL, INTERLOCK
11/29/2012 9:50:26.313 PM	TRIP_023	Acknowledged alarm [TRIP_023] in alarm server [RNA://Local/SGMB001_Electroguayas_CD1:TAGAE] using remote contr
11/29/2012 9:57:20.890 PM	TRIP_023	[TCS] PARO 023 - BAJA PRESION DE ACEITE DE CONTROL, INTERLOCK
11/29/2012 9:51:31.047 PM	ALM_205	[TCS] ALM 205 - SPARE / DISPONIBLE
11/29/2012 9:51:31.047 PM	ALM_204	[TCS] ALM 204 - SPARE / DISPONIBLE
11/29/2012 9:51:30.017 PM	TRIP_023	[TCS] PARO 023 - BAJA PRESION DE ACEITE DE CONTROL, INTERLOCK
11/29/2012 9:51:23.297 PM	TRIP_023	[TCS] PARO 023 - BAJA PRESION DE ACEITE DE CONTROL, INTERLOCK
11/29/2012 9:51:23.297 PM	ALM_203	[TCS] ALM 203 - SPARE / DISPONIBLE
11/29/2012 9:51:23.297 PM	TRIP_024	[TCS] PARO 024 - BAJO NIVEL DE VACIO, PS - 49
11/29/2012 9:51:22.953 PM	TRIP_023	Acknowledged alarm [TRIP_023] in alarm server [RNA://Local/SGMB001_Electroguayas_CD1:TAGAE] using remote contr
11/29/2012 9:51:22.953 PM	TRIP_024	Acknowledged alarm [TRIP_024] in alarm server [RNA://Local/SGMB001_Electroguayas_CD1:TAGAE] using remote contr
11/29/2012 9:51:22.953 PM	ALM_203	Acknowledged alarm [ALM_203] in alarm server [RNA://Local/SGMB001_Electroguayas_CD1:TAGAE] using remote contr
11/29/2012 9:51:15.140 PM	TRIP_023	[TCS] PARO 023 - BAJA PRESION DE ACEITE DE CONTROL, INTERLOCK
11/29/2012 9:51:14.127 PM	TRIP_024	[TCS] PARO 024 - BAJO NIVEL DE VACIO, PS - 49
11/29/2012 9:50:44.407 PM	ALM_203	[TCS] ALM 203 - SPARE / DISPONIBLE
11/29/2012 9:50:44.407 PM	ALM_203	[TCS] ALM 203 - SPARE / DISPONIBLE
11/29/2012 9:50:12.877 PM	ALM_203	[TCS] ALM 203 - SPARE / DISPONIBLE
11/29/2012 9:43:20.797 PM	ALM_203	[TCS] ALM 203 - SPARE / DISPONIBLE
11/29/2012 9:43:20.797 PM	TRIP_023	[TCS] PARO 023 - BAJA PRESION DE ACEITE DE CONTROL, INTERLOCK
11/29/2012 9:43:20.250 PM	TRIP_023	Acknowledged alarm [TRIP_023] in alarm server [RNA://Local/SGMB001_Electroguayas_CD1:TAGAE] using remote contr
11/29/2012 9:43:20.250 PM	ALM_203	[TCS] ALM 203 - SPARE / DISPONIBLE
11/29/2012 9:43:20.250 PM	ALM_203	Acknowledged alarm [ALM_203] in alarm server [RNA://Local/SGMB001_Electroguayas_CD1:TAGAE] using remote contr
11/29/2012 9:43:06.627 PM	ALM_203	[TCS] ALM 203 - SPARE / DISPONIBLE
11/29/2012 9:42:57.577 PM	ALM_217	[TCS] ALM 217 - GV POSITION ERROR
11/29/2012 9:42:56.547 PM	TRIP_023	[TCS] PARO 023 - BAJA PRESION DE ACEITE DE CONTROL, INTERLOCK
11/29/2012 9:42:46.951 PM	TRIP_023	[TCS] PARO 023 - BAJA PRESION DE ACEITE DE CONTROL, INTERLOCK
11/29/2012 9:41:59.797 PM	ALM_217	[TCS] ALM 217 - GV POSITION ERROR
11/29/2012 9:41:59.313 PM	ALM_217	Acknowledged alarm [ALM_217] in alarm server [RNA://Local/SGMB001_Electroguayas_CD1:TAGAE] using remote contr
11/29/2012 9:41:29.860 PM	ALM_203	[TCS] ALM 203 - SPARE / DISPONIBLE
11/29/2012 9:41:13.107 PM	ALM_217	[TCS] ALM 217 - GV POSITION ERROR
11/29/2012 9:37:48.797 PM	ALM_203	[TCS] ALM 203 - SPARE / DISPONIBLE
11/29/2012 9:37:48.517 PM	ALM_203	Acknowledged alarm [ALM_203] in alarm server [RNA://Local/SGMB001_Electroguayas_CD1:TAGAE] using remote contr
11/29/2012 9:36:32.140 PM	ALM_203	[TCS] ALM 203 - SPARE / DISPONIBLE
11/29/2012 9:36:21.030 PM	TRIP_023	[TCS] PARO 023 - BAJA PRESION DE ACEITE DE CONTROL, INTERLOCK
11/29/2012 9:35:00.797 PM	TRIP_023	[TCS] PARO 023 - BAJA PRESION DE ACEITE DE CONTROL, INTERLOCK
11/29/2012 9:35:00.360 PM	TRIP_023	Acknowledged alarm [TRIP_023] in alarm server [RNA://Local/SGMB001_Electroguayas_CD1:TAGAE] using remote contr
11/29/2012 9:34:51.027 PM	TRIP_023	[TCS] PARO 023 - BAJA PRESION DE ACEITE DE CONTROL, INTERLOCK

Fig. 2.7: Historial de alarmas y disparos

### 2.3.8 Ventana para la Transferencia de Válvulas

Esta ventana (Fig. 2.8) adicional muestra un valor llamado "RAMPA", este es el comando de transferencia. Entiéndase que, cuando es igual a cero significa que esta válvula está en control. En la pantalla que se muestra, las válvulas de regulación cuentan con un valor de "RAMPA" de

ceros y la válvula principal de paro cuenta con un valor de 100%, lo que significa que la válvula de paro está totalmente abierta y las reguladoras determinan la velocidad y/o carga de la unidad.

Para hacer la transferencia se cuenta con un botón, el cual se “ilumina” de color naranja cuando este se activa o le es permitido realizar la transferencia hacia la válvula mencionada. En la pantalla se muestra el botón para hacer la transferencia hacia la válvula de paro, caso contrario a cuando estamos arrancando la unidad.

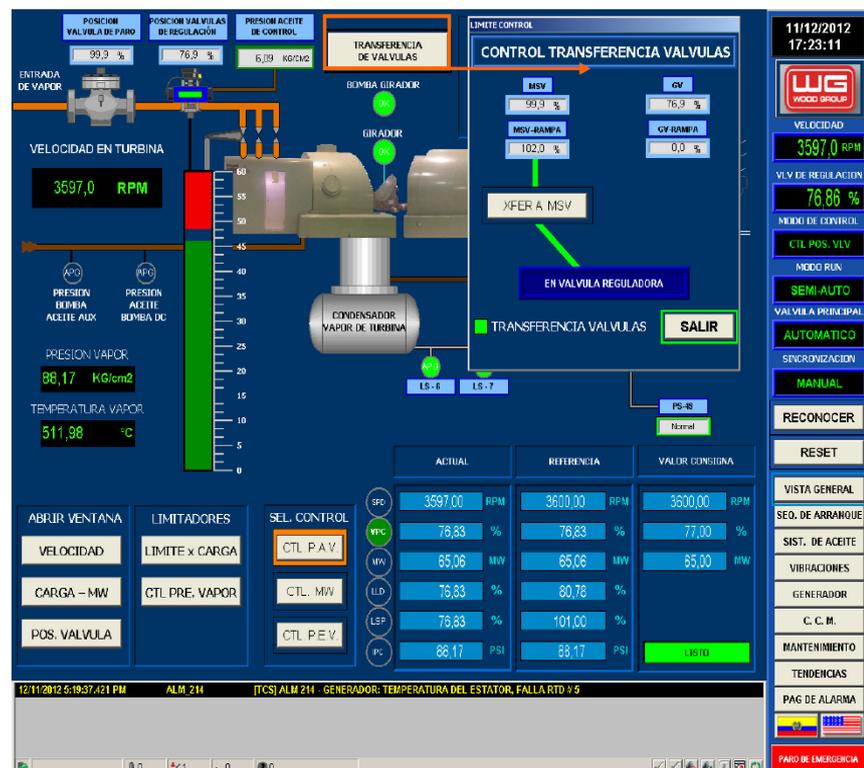


Fig. 2.8: Ventana para la transferencia de válvulas

### 2.3.9 Control de Velocidad

Esta ventana (Fig. 2.9) muestra los comandos disponibles para el control de velocidad. En esta ventana el operador primero tiene que seleccionar la tasa de cambio en los botones de BAJA, MEDIA Y ALTA. Los comandos de BAJAR y SUBIR, corresponden al modo MANUAL solamente, en caso de mantener el botón presionado, la razón de velocidad estará limitada a la tasa de cambio seleccionada.

MODO SEMI-AUTOMÁTICO, solo cuando se selecciona este modo aparece el campo de VALOR OBJETIVO y corresponde a algún valor entre 0 y 4000 RPM. Una vez que el PLC tenga un nuevo objetivo, hay que darle la instrucción de continuar, el control cambiara el valor de la referencia hasta llegar al valor objetivo según la razón de velocidad seleccionada. En caso de ingresar un valor diferente a deseado, usted puede cambiarlo en cualquier momento y dar continuar nuevamente.

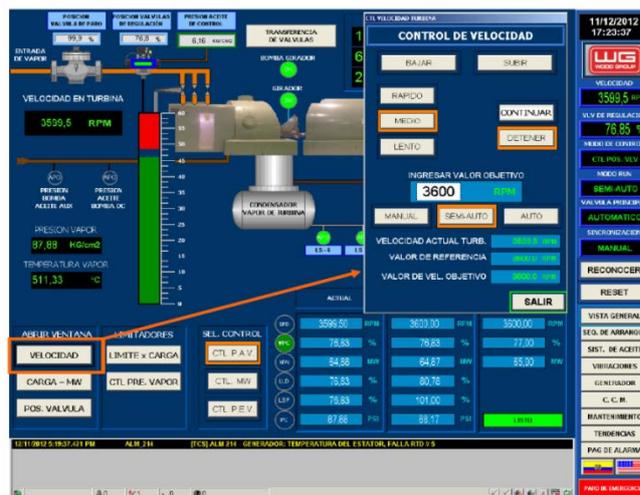


Fig. 2.9: Ventana control de velocidad

### 2.3.10 Control por Porcentaje apertura de las Válvulas Reguladoras

(VPC, PAV)

En esta ventana (Fig. 2.10), el operador cuenta solo con dos opciones, MANUAL, SEMI-AUTOMÁTICO. Estas funcionan de igual forma que lo descrito en la ventana de velocidad, solo que en este caso, se ingresa un valor de PORCENTAJE DE APERTURA.

Hay que tomar en cuenta, que este modo de operación, solo funciona una vez que el interruptor del generador 52G está CERRADO. Cuando el TCS detecta el cierre del interruptor por primera vez, automáticamente se transfiere del control de velocidad al control Porcentual de Válvulas Reguladoras (PAV).



Fig. 2.10: Control por porcentaje de apertura de las válvulas reguladoras (VPC, PAV)

### 2.3.11 Control por Carga – MW

En esta ventana (Fig. 2.11), el operador cuenta solo con dos opciones, MANUAL, SEMI-AUTOMÁTICO. Estas funcionan de igual forma que lo descrito en la ventana de velocidad, solo que en este caso, se ingresa un valor de MEGAWATTS.



Fig. 2.11: Control por carga MW

### 2.3.12 Limitador del Gobernador / Carga

En esta ventana (Fig. 2.12) el operador puede ajustar el límite superior del gobernador, dado como un porcentaje máximo de apertura de las válvulas reguladoras. Este es un valor netamente de referencia y su control es puramente MANUAL.



Observe que existe un botón de BLOQUEO CTL PRES, Este es el bloqueo del control por lo tanto primero se tiene que armar la protección, lo cual le permite al operador pasar al modo de P.E.V., presionando el botón de CTL P.E.V. El valor de referencia se ajusta solamente de forma MANUAL, presionando los botones de subir y bajar.

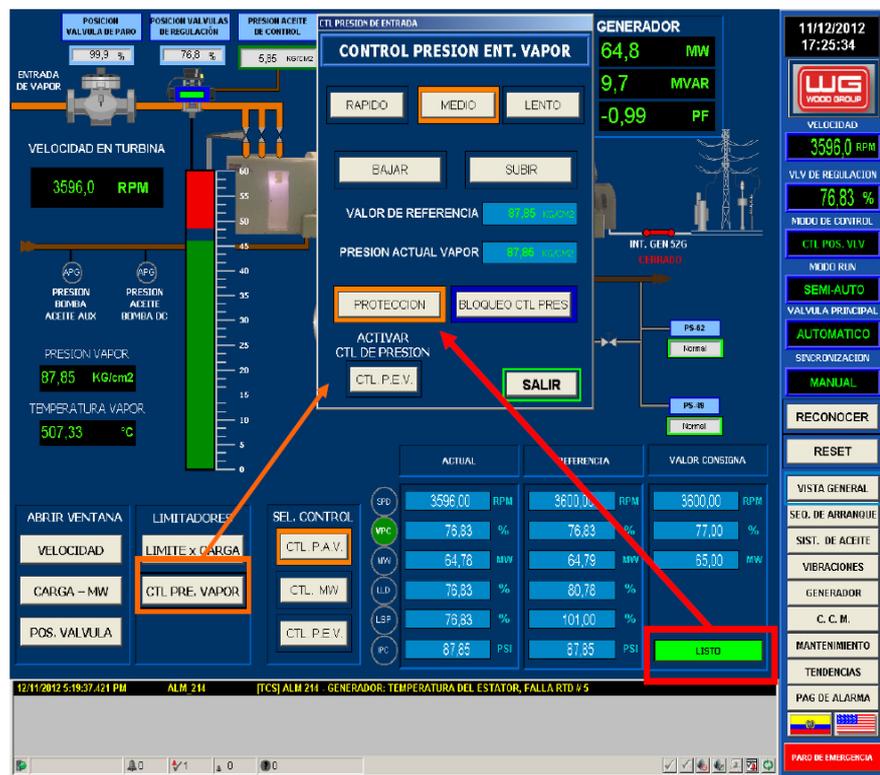


Fig. 2.13: Control de la presión de vapor a la entrada de la turbina (P.E.V.)

### 2.3.14 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 (Fig. 2.14) se abre después de presionar el botón de la parte inferior derecha.

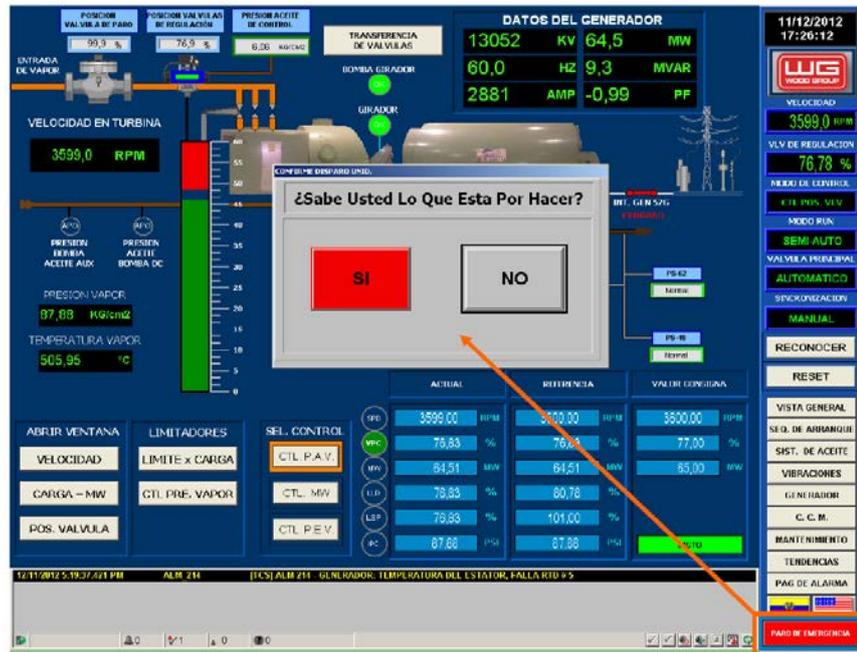


Fig. 2.14: Paro de emergencia desde la HMI

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

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

1. 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.
2. 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.
3. 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.

4. Mantenimiento y reparaciones. El nuevo sistema de control electro hidráulico permitió 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
5. Adecuada velocidad de respuesta ante contingencias en el Sistema Nacional Interconectado (SNI).

### **Recomendaciones**

1. Implementar un programa de mantenimiento preventivo para todos los sistemas y equipos instalados: limpieza mensual de paneles y anualmente revisión de lógica de control y conexiones eléctricas.
2. Nuevas aplicaciones como parte de un proceso de mejoras continuas para la optimización de los diferentes sistemas auxiliares: motorizar las válvulas manuales.
3. Crear grupos de análisis para determinar las causas que originen Indisponibilidad de las unidades, conformado por técnicos de las áreas de instrumentación, eléctrica e ingeniería.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES (MHI), Manual e instructivos de turbina del fabricante, Japón, 1978

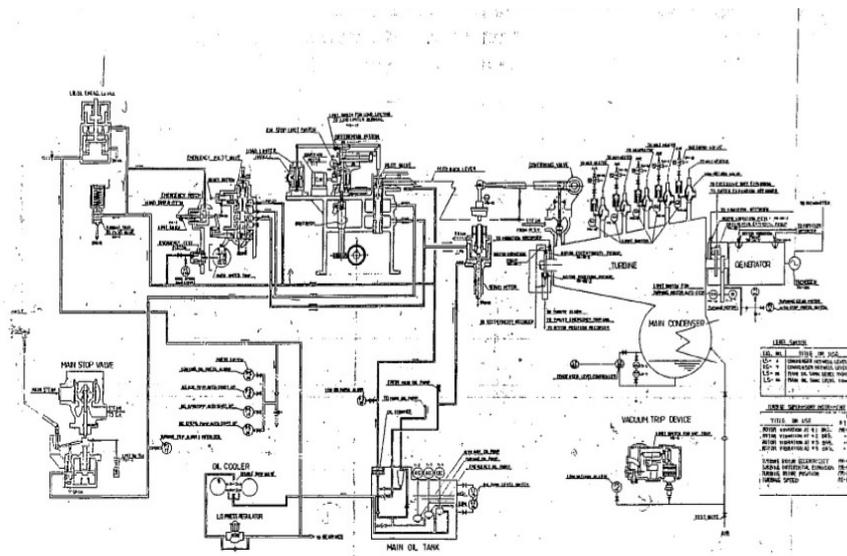
[2] Ings: Mauricio Molina A. y Luis Moreno R. Ecuacier, XVII Seminario Nacional del Sector Eléctrico, Cotopaxi, Ecuador, 2013

[3] Rockwell Automation, Manual del programa del PLC Controllogix, USA, 2013

[4] Wood Group, Seminario sobre el nuevo Sistema de Control, USA, 2012

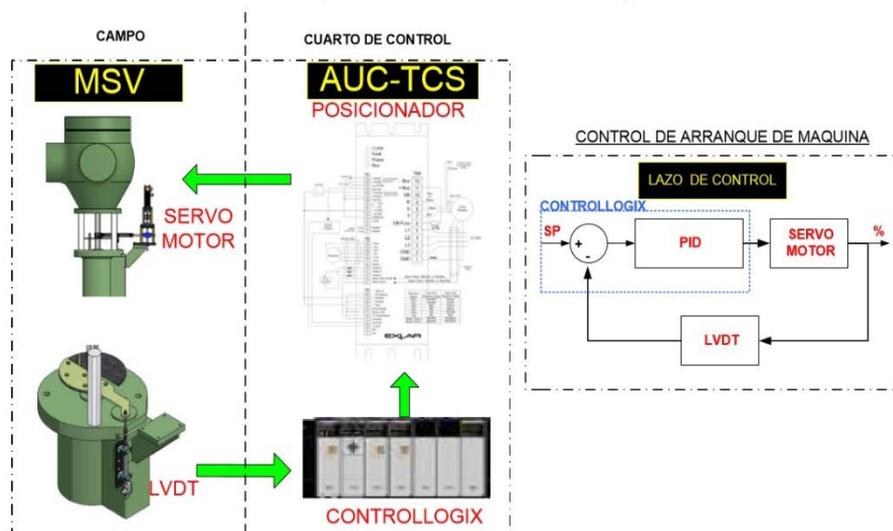
## ANEXOS

### Anexo 1: Esquema control mecánico – hidráulico

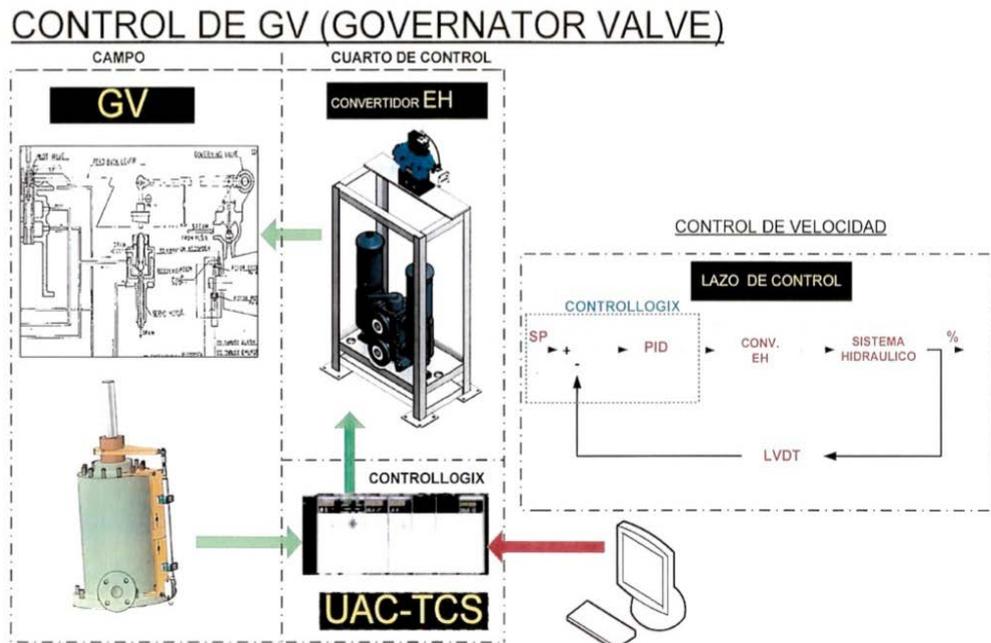


### Anexo 2: Esquema control válvula principal MSV

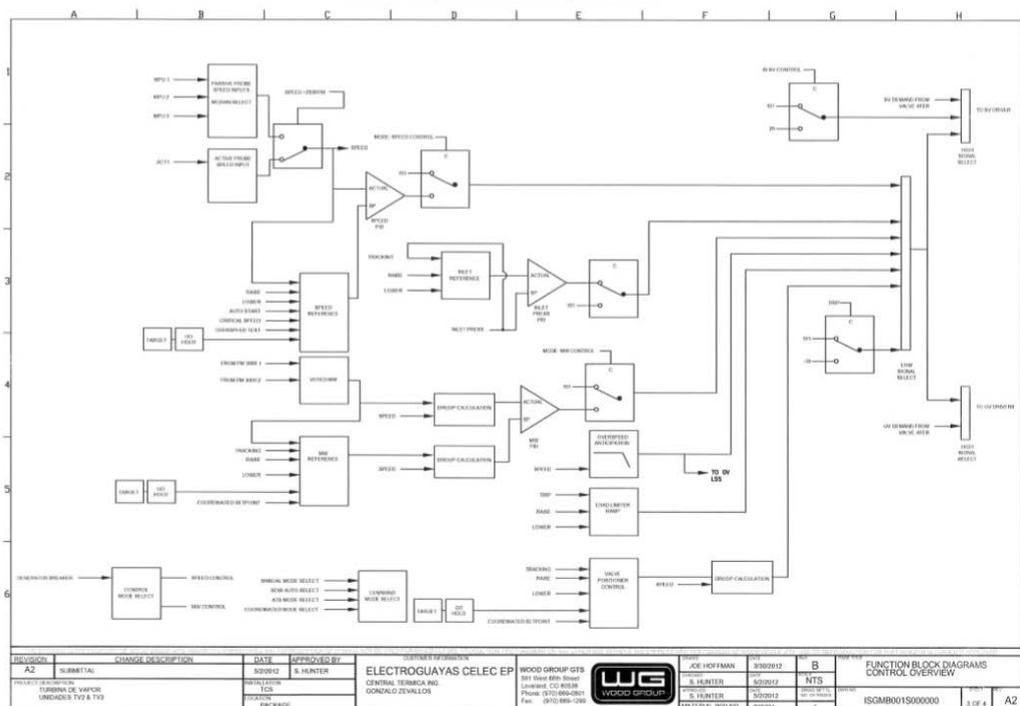
#### CONTROL DE MSV (MAIN STOP VALVE)



### Anexo 3: Esquema control válvulas de regulación GV



### Anexo 4: Esquema de control digital





## Anexo 7: Diagrama funcional disparo Turbina

