

APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO PARA UNA CENTRAL TÉRMICA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.

DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM APPLIED TO A THERMAL ELECTRIC POWER PLANT

Ing. Jorge Ignacio Leone Campo
MAX Control Systems Inc.

M.Sc. Ing. Patricio Burbano Romero
Escuela Politécnica Nacional

Resumen

Para la automatización de la central térmica Trinitaria se utilizó un sistema de control distribuido (DCS, distributed control system), debido a sus grandes ventajas sobre otros tipos de sistemas de automatización como son PLC's (controladores lógicos programables), los controladores de procesos locales o la lógica cableada. Una gran ventaja de los sistemas de control distribuido es su capacidad de tener la inteligencia "distribuida" y la supervisión centralizada.

Par llevar esto a cabo, el sistema posee un lazo redundante de comunicación por medio de fibra óptica que comunica a las unidades de procesamiento distribuido DPU's. Las comunicaciones en la fibra óptica se realizan a 500 KBPS y en el lazo de supervisión se tiene una red ethernet redundante a 10 MBPS que interconecta a los computadores de supervisión. Estos utilizan software bajo sistema operativo Windows95 para facilitar la operación y el aprendizaje.

Los operadores interactúan con el DCS por medio de diversas pantallas que forman la

interface hombre-máquina del sistema. Las pantallas creadas se pueden clasificar en cuatro grandes grupos, pantallas de operación, de ingeniería, de control y de registro.

La central térmica Trinitaria aporta 130 MW al sistema nacional interconectado y posee instrumentación y controles más modernos que en cualquier otra unidad de generación del país.

Abstract

To perform the automation for Trinitaria power plant, it is been used a distributed control system (DCS), due to its great advantages like distributed intelligence and centralized supervision over another automation systems.

The DCS has a redundant fiber optic communication loop that communicates the distributed processing units DPU's at 500 KBPS and a redundant ethernet network at 10 MBPS that interconnects the supervisory PC's. This PC's uses software under Windows95 to make easier the learning and operation.

Trinitaria power plant generates 130 MW for the national interconnected system and it has better and modern instrumentation and control than other generation units in the country.

1. INTRODUCCION

El sistema de control distribuido es la técnica de automatización que más se está empleando en la actualidad debido a las grandes ventajas que presenta sobre los sistemas tradicionales de automatización como son los PLC's, controladores electrónicos y analógicos locales, lógica cableada tradicional, etcétera.

Los sistemas de control distribuido se basan en el criterio de que la "inteligencia" (de las unidades que realizarán la tarea de control) esté repartida en varios sitios, para que dicho control se efectúe, cerca del proceso y sin centralizar todas las tareas en una sola unidad, lo cual es muy útil en aplicaciones críticas debido al tiempo dedicado por cada unidad de control distribuido a una tarea específica y no a todas las tareas una después de otra como sería en el caso de un control centralizado.

Los sistemas de control distribuido se han desarrollado con un pensamiento mucho más moderno, se los desarrolla de manera que prime la conectividad con otros sistemas, no se los hace como sistemas cerrados como son algunas marcas de PLC's o de controladores.

Para llevar adelante este criterio de "arquitectura abierta", los sistemas de control distribuido vienen en su mayoría con la posibilidad de crear una interface hombre-

máquina a través de una computadora normal, al cual se le agregan tarjetas de comunicaciones y software para presentación de información.

Muchos de estos sistemas de control distribuido vienen con módulos de comunicación o con puertos de tipo serie y los protocolos de comunicación listos en software, desarrollados para comunicarse con otras marcas de sistemas de control distribuidos o con PLC's.

El sistema de control distribuido instalado en la central de generación térmica Trinitaria, es un ejemplo de aplicación en el cual todos los equipos, instrumentación, transductores, etcétera, son nuevos, por lo que se obtiene el máximo provecho de la utilización de este tipo de control.

Para la central térmica Trinitaria se diseñó el sistema de control distribuido computarizado para el control de la unidad, con una capacidad del orden de 130 MW.

Se diseñó la interface hombre-máquina con las siguientes directivas, que sea amigable con el usuario, que cubra las necesidades de información de los operadores, a la vez que sea lo suficientemente flexible para que los ingenieros a cargo puedan trabajar en optimizar las respuestas de los procesos.

Se diseñó también un conjunto de pantallas que permitan al personal de la central analizar el comportamiento histórico de diversos puntos

que hayan sido programados para cumplir con esa característica.

Se diseñó pantallas de tipo librería en las que se podrán encontrar los principales objetos desarrollados para este proyecto de modo que puedan ser utilizados para desarrollos de pantallas en el futuro.

2. PANTALLAS DE OPERACION E INGENIERIA

Pantallas de Operador: son las pantallas de uso cotidiano y normal en las que se visualiza diagramas mímicos (representaciones esquemáticas) del proceso, información del estado de funcionamiento de la central y en estas los operadores pueden tomar ciertas

acciones y decisiones. Los objetivos principales que se persiguen en el desarrollo de las pantallas de operación son los siguientes:

1. Esquematizar todos los procesos de la central de una manera sencilla y comprensible.
2. Las pantallas deben tener concatenación si es necesario y ser consistentes entre sí de modo de que existan las mismas directivas en todas las pantallas.
3. Las pantallas deben ser amigables con el usuario, principalmente con los operadores y ser fáciles de entender.

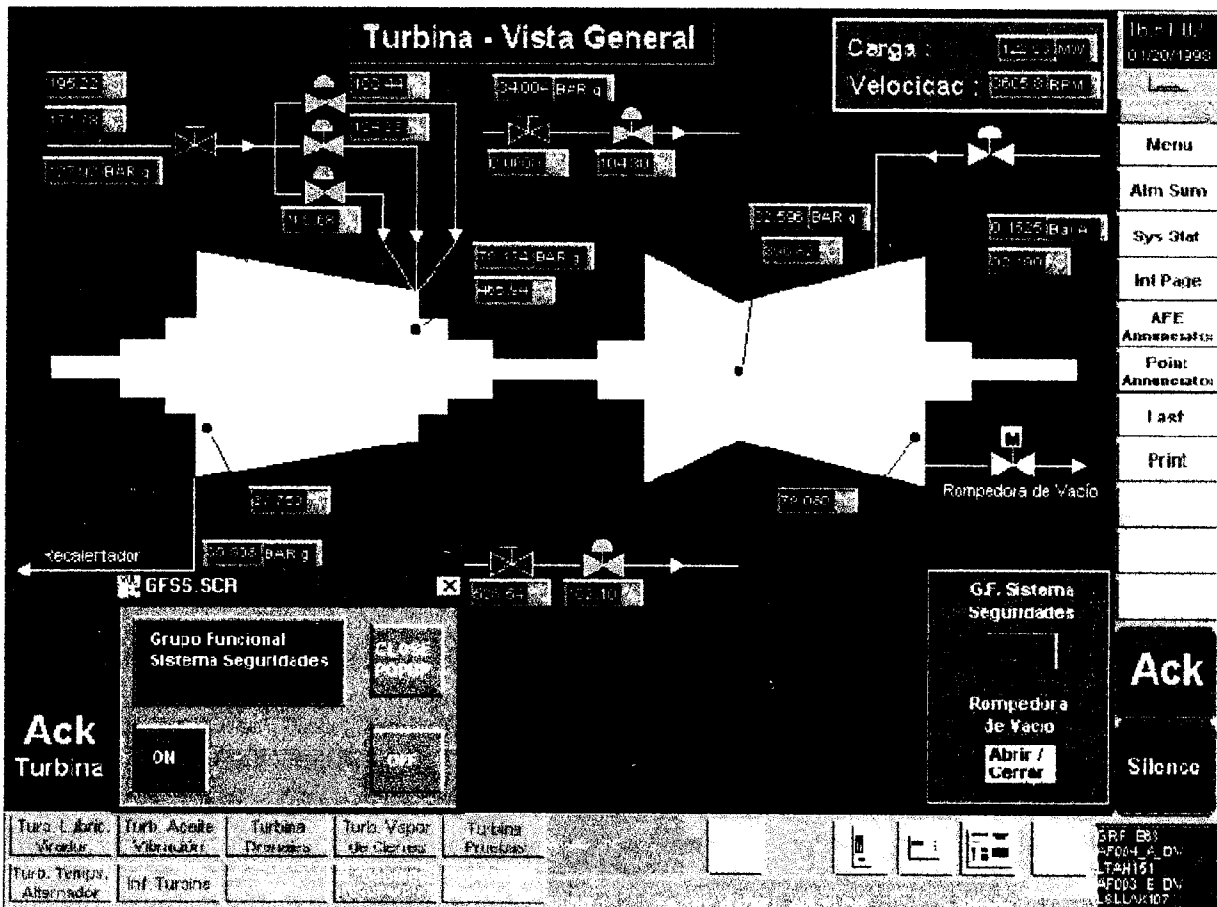


Figura 2.1. Pantalla de operación de vista general de turbina

Para el diseño de estas pantallas se siguieron directivas como la lógica, equipos relacionados, que información se requiere con respecto a esos equipos y otros, considerando siempre las limitaciones que pueda tener el software de supervisión DATAVUE para no transgredirlas.

Para operar en estas pantallas se han generado los objetos necesarios de modo que se represente todos los equipos y su modo de operación con un código de colores que ayude a representar el estado de los equipos y que sea fácilmente identificable por el operador.

Los principales objetos generados son:

Bombas:

Las bombas se representan por medio del símbolo que se presenta en la figura 2.2:



Bomba en funcionamiento

Bomba parada

Objeto seleccionado (recuadro exterior) Objeto no seleccionado

Figura 2.2

Símbolo de representación de una bomba

La bomba se opera de la siguiente manera en pantalla: se presiona sobre el símbolo y se abre en una ventana auxiliar; el panel de control de la misma, el cual se observa en la figura 2.3:

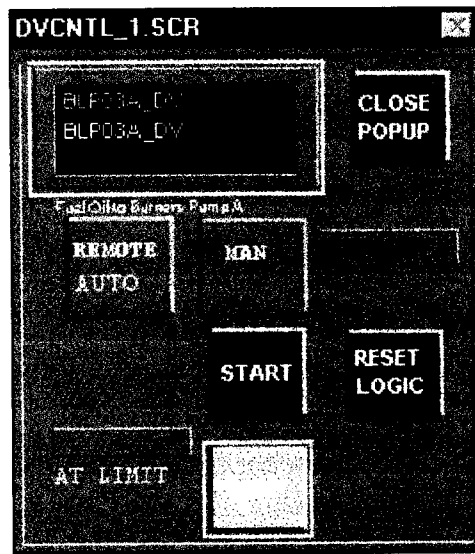


Figura 2.3. Panel de Control

En este panel de control se puede observar el estado de la bomba, si está en funcionamiento, parada, disparada, también se puede inicializar (reset) la lógica de operación de la bomba de modo que exista posibilidad de manipular señales de entrada para lograr la operación de modo manual. Se puede arrancar, parar la bomba y se observará si se encuentra en estado de alarma.

El código de colores utilizado para las bombas es el siguiente, tabla 2.1:

Estado de Operación	Color Representativo
Bombeando	Rojo
Parada	Verde
Disparo	Cyan
Falla de arranque	Amarillo
Estado de alarma	Intermitente Rojo - Rojo oscuro en el cuadro exterior del símbolo

Tabla 2.1. Código de colores para representación del estado de una bomba

Ventiladores:

Los ventiladores se representan por el símbolo presentado en la figura 2.4:

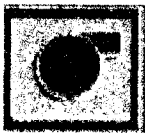


Figura 2.4

Símbolo de representación de un ventilador

Los ventiladores operan de manera similar a una bomba desde el punto de vista de la lógica y el código de colores utilizado para representar su estado de funcionamiento.

Válvulas Motorizadas (M.O.V.):

Las válvulas motorizadas se representan por el siguiente símbolo, figura 2.5:



Válvula motorizada en falla

Válvula motorizada abierta

Figura 2.5

Símbolo de las válvulas motorizadas

Las válvulas motorizadas funcionan de la siguiente manera: se presiona sobre el símbolo y se abre un panel de control similar al anteriormente mencionado, pero adaptado a válvulas, en vez de arrancar/parar, tiene funciones de abrir/cerrar por ejemplo.

La válvula se puede abrir, cerrar, parar en el recorrido, también se puede inicializar (reset)

la lógica de la válvula, lo que hará que se quede en la posición que se encuentra.

El código de colores utilizado para representar los modos de operación de éstas válvulas se presenta en la tabla 2.2:

Estado de Funcionamiento	Color Utilizado
Válvula abierta	Rojo
Válvula abriendo	Intermitente rojo - rojo oscuro
Válvula cerrada	Verde
Válvula cerrando	Intermitente verde - verde oscuro
Válvula parada en recorrido	Magenta
Falla en apertura o cierre	Amarillo
Válvula en estado de alarma	Intermitente rojo - rojo oscuro en cuadro alrededor del símbolo

Tabla 2.2. Colores representativos del estado de válvulas motorizadas

Válvulas Solenoides:

Las válvulas solenoides se las representa por el siguiente símbolo, figura 2.6



Válvula solenoide en falla

Válvula solenoide abierta

Figura 2.6

Símbolo de válvulas solenoides

Las válvulas solenoides también disponen de su panel de control y los colores representativos de su estado de funcionamiento son los utilizados en la tabla 2.3:

Estado de funcionamiento	Color representativo
Válvula abierta	Rojo
Válvula cerrada	Verde
Válvula en tránsito	Magenta
Fallo en apertura o cierre	Amarillo

Tabla 2.3. Colores representativos del estado de válvulas solenoides

Indicación (display) de valores analógicos de puntos de medida:

Los valores analógicos de medida se muestran en las pantallas de operación por medio de un recuadro de color gris, con dos campos de color negro, en los cuales se visualiza el valor medido y la unidad de medida como se muestra en la figura 2.7:



Indicador en condición normal Indicador en alarma Indicador seleccionado

Figura 2.7

Recuadro de presentación de valores analógicos

El recuadro de presentación de valores analógicos, tiene el siguiente código de colores, que se muestra a continuación en la tabla 2.4:

Estado del valor analógico	Color representativo
Normal	Gris
En alarma - no reconocida	Intermitente rojo – rojo oscuro
En alarma – reconocida	Rojo
Seleccionado	Borde de color amarillo

Tabla 2.4. Código de colores para cuadro de valores analógicos

Pantallas de Ingeniería: en éstas se visualizan todos los lazos de control de la central y en éstos los ingenieros podrán cambiar las constantes de los lazos de control para probar los cambios y obtener la respuesta óptima del proceso.

Para cumplir con éste objetivo se puede utilizar la información que se obtenga en las pantallas de registro.

Estas pantallas se las diseña siguiendo al pie de la letra los planos de los diagramas funcionales, los cuales detallan las variables que intervienen en un lazo de control y los modificadores que puedan existir.

En estas pantallas se encuentran los objetos que se presentan a continuación:

Bloque de entrada de valores analógicos:

Son bloques de color naranja como se muestra en la figura 2.8 en los cuales se visualiza el valor de entrada, la unidad de medida, la calidad de la medida, si la medida se encuentra en alarma:



Figura 2.8

Bloque de entrada de valores analógicos

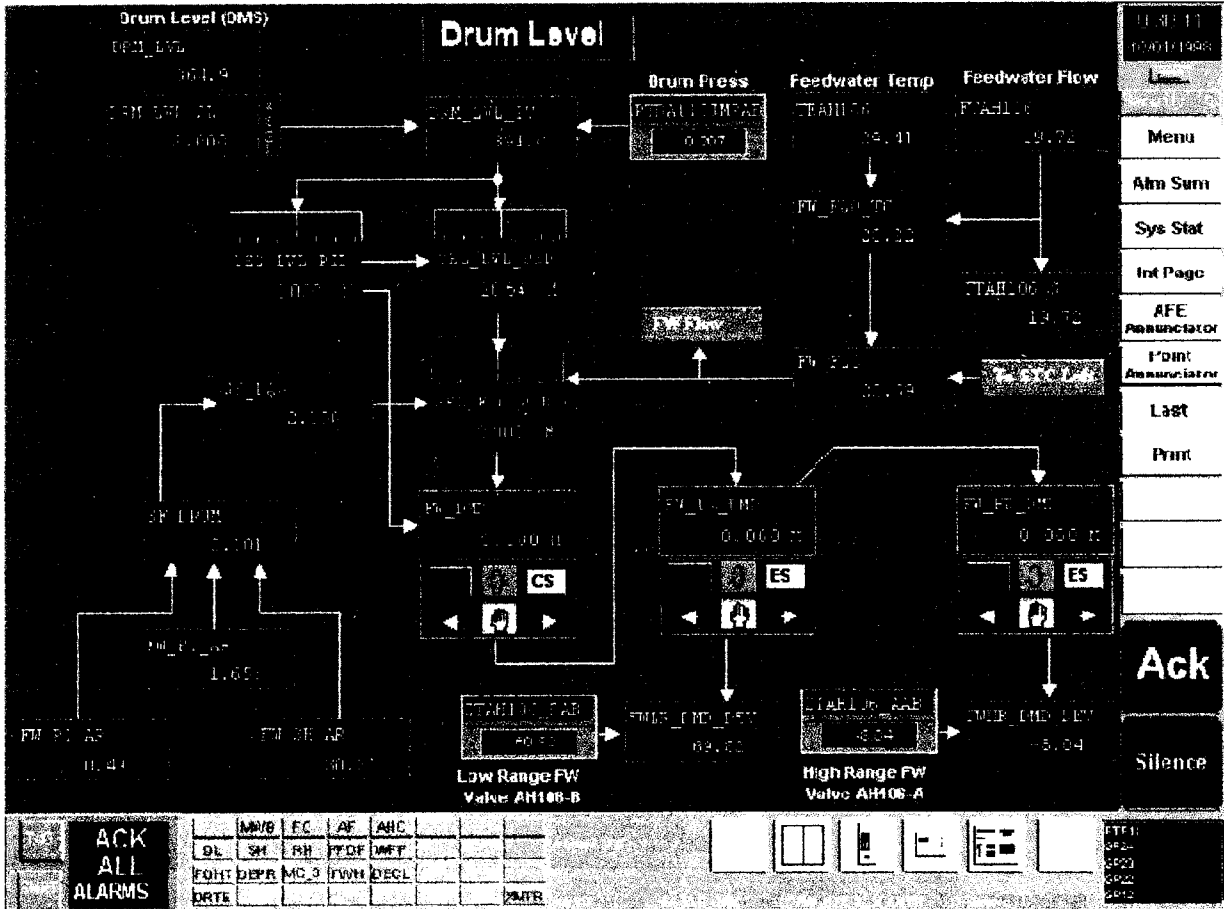


Figura 2.9. Pantalla de ingeniería del lazo de control de nivel del calderín.

Bloque de salida de valores analógicos:

Estos son de color naranja, en estos se visualiza el valor de salida, la unidad de medida y si existe un override sobre la salida, como se observa en la figura 2.10



Figura 2.10

Bloque de salida de valores analógicos

Bloque de resultados de operaciones:

Estos son de color azul, en estos se visualiza el resultado de la operación efectuada, ya sea matemática, lógica, de función, de lista y otras, en estos bloques también se visualiza si el

resultado está en las regiones de alarma, si el cálculo se está efectuando o los valores de entrada son inciertos y la salida es una salida forzada, como se observa en la figura 2.11



Figura 2.11

Bloque de resultado de operaciones

Bloques PID:

Estos son de color azul y están compuestos por dos bloques: el primero presenta el resultado de aplicar el algoritmo de control PID a la variable de entrada y entrega datos de desviación de la variable de proceso con

respecto al punto de consigna, si se encuentra en override, si esta en alarma y el segundo bloque que es un controlador en el cual se puede poner el lazo en automático o manual y teclas para el control manual.

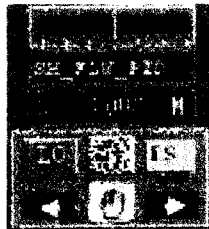


Figura 2.12
Bloque PID

3. DISPOSITIVOS Y LAZOS DEL SISTEMA

Dispositivos lógicos: La lógica de dos estados es aplicable a todo equipo que requiera de comandos tipo ON/OFF, como son bombas, ventiladores, válvulas solenoides, compuertas, sopladores de hollín y otros. Lo que se hizo es generar una rutina de comprobación del estado del equipo por medio de sus realimentaciones, ya sean marcha / parada, abierto / cerrado, insertado / extraído y comprobarlo con las órdenes generadas por el operador, a esta rutina se la denominará en adelante como dispositivo lógico.

Descripción general: Estos dispositivos de operación lógicos proporcionan una operación basada en comandos desde las pantallas para un dispositivo con lógica de dos estados.

La lógica proporciona bits de salida lógica para los siguientes casos:

- Operación direccionada de salidas digitales al hardware que controla el dispositivo.
- Operación de la salida digital al hardware que detiene los dispositivos (donde se requiera).
- Indicación direccionada de los estados de los comandos.
- Indicación del estado de las alarmas de fallo.
- Indicación del estado automático (remoto).
- Indicación del estado de alarma de fallo para Abriendo / Arrancando o Abierto / Arrancado.
- Indicación del estado de alarma de fallo para Cerrando / Disparando o Cerrado / Disparado.

Todas estas indicaciones se reciben en el panel de control presentado en la figura 2.3.

A continuación se presenta otro tipo de panel de control utilizado en el proyecto, que se muestra en la figura 3.1.

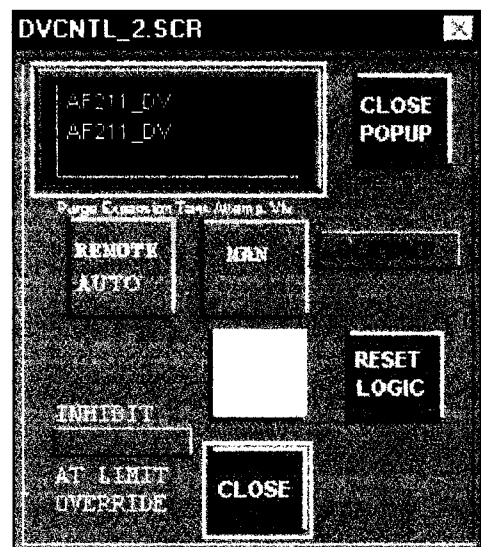


Figura 3.1. Panel de control para una válvula solenoide y sus indicaciones

Dispositivos lógicos controlados por el DCS de la central térmica trinitaria:

A continuación se listan los dispositivos lógicos de dos estados que son controlados por el sistema de control distribuido, se presentan listados por sistemas:

SISTEMA DE EXTRACCIONES DE TURBINA (AD)

AD004, Válvula motorizada de la extracción 4.
AD005, Válvula motorizada de la extracción 5.
AD006, Válvula motorizada de la extracción 6.

SISTEMA DE AGUA DE EXTRACCION DE CONDENSADO (AF)

AFP01A, Bomba de agua de extracción de condensado A.

AFP01B, Bomba de agua de extracción de condensado B.

AFP02, Bomba de aportación de condensado al condensador.

AFP07, Válvula de condensado al ejector de servicios A.

AFP08, Válvula de condensado al ejector de servicios B.

AFP04 A, Válvula de aportación normal de condensado al condensador.

AFP03 B, Válvula de aportación de agua al condensador.

AFP05, Válvula de captación de purgas al tanque de desaireación A.

SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACION (AJ)

AJP01 A, Bomba de drenaje del calentador A.

AJP01B, Bomba de drenaje del calentador B.

AHP02A, Bomba auxiliar de lubricación de la bomba de agua de alimentación A.

AHP02B, Bomba auxiliar de lubricación de la bomba de agua de alimentación B.

AH003, Válvula motorizada de descarga de la bomba de agua de alimentación A.

AH004, Válvula motorizada de descarga de la bomba de agua de alimentación B.

AH010_A, Válvula de recirculación mínima de la bomba de agua de alimentación A.

AH010_B, Válvula de recirculación mínima de la bomba de agua de alimentación B.

AH087, Válvula de drenaje de los calentadores de alta presión.

SISTEMA DE CALENTADORES DE AGUA DE ALIMENTACION (AJ)

AJP01, Bomba de drenaje del calentador de baja presión #3.

SISTEMA DE DRENAJES DE SOBRECALENTADO, RECALENTADO Y TURBINA (AK)

AKP01A, Bomba de drenaje A del tanque de goteo y purgas.

AKP01B, Bomba de drenaje B del tanque de goteo y purgas.

AK009, Válvula de drenaje de la tubería de sobrecalentado.

AK006, Válvula de drenaje de la tubería del tanque de goteo y purgas.

SISTEMA DE EFECTORES Y VACIO DEL CONDENS. (AN)

ANP01 A, Bomba de vacío del condensador A.

ANP01B, Bomba de vacío del condensador B.

AN001, Válvula de aire al eyector de arranque.
 AN002, Válvula de aire eyector de servicio A.
 AN003, Válvula de aire eyector de servicio B.

SISTEMA DE DRENAJE Y PURGAS, LLENADO Y VACIADO DE CALDERA (BC)

AFP05, Bomba de llenado de caldera.
 BC104, Válvula motorizada de recirculación del economizador.

SISTEMA DE VENTILACION E INTERCAMBIO DE CALOR EN CALDERA (BD)

BDV01A, Ventiladores de tiro forzado A.
 BDV01B, Ventiladores de tiro forzado B.
 BD304_1, Compuerta de descarga del ventilador de tiro forzado A.
 BD304_2, Compuerta de descarga del ventilador de tiro forzado B.
 BDV02, Ventilador de recirculación de gases.
 BDV02VO, Motovirador del ventilador de recirculación de gases.
 BD416, Compuerta de impulsión del ventilador de recirculación de gases.
 BD419, Compuerta de refrigeración del plenum.
 BD420, Compuerta de calentamiento del ventilador de recirculación de gases.
 BDV03, Ventilador de aire de sellado.
 BD605_6, Compuerta de descarga del ventilador de aire de sellado y su by-pass.
 BDE02M1, Motor eléctrico del calentador de aire regenerativo.
 EVKA764, Válvula solenoide del motor neumático del calentador de aire regenerativo.

BDE02M2, Motor de lavado del calentador de aire regenerativo.

SISTEMA DE FUEL - OIL (BL)

BL002, Válvula de ingreso de Fuel-Oil al tanque de almacenamiento.
 BL014, Válvula de salida de Fuel-Oil del tanque de almacenamiento.
 BL015, Válvula de aspiración de las bombas de trasiego A.
 BL016, Válvula de aspiración de las bombas de trasiego B.
 BLP02A, Bomba de trasiego de Fuel-Oil A.
 BLP02B, Bomba de trasiego de Fuel-Oil B.
 BLP03A, Bomba de Fuel-Oil a quemadores A.
 BLP03B, Bomba de Fuel-Oil a quemadores B.

SISTEMA DE DIESEL - OIL (BM)

BMP01A, Bomba de llenado A del tanque de Diesel - Oil.
 BMP01B, Bomba de llenado B del tanque de Diesel - Oil.
 BMP01A, Bomba de Diesel - Oil a ignitores A.
 BMP02B, Bomba de Diesel - Oil a ignitores B.

SISTEMA DE AGUA DE CIRCULACION (DA)

DAP01A, Bomba de agua de circulación A.
 DAP01B, Bomba de agua de circulación B.
 DA001, Válvula de impulsión de la bomba de agua de circulación A.
 DA002, Válvula de impulsión de la bomba de agua de circulación B.
 DA003, Válvula de ingreso al condensador lado izquierdo.
 DA004, Válvula de salida del condensador lado izquierdo.

DA005, Válvula de ingreso al condensador lado derecho.

DA006, Válvula de salida del condensador lado derecho.

SISTEMA DE AGUA DE SERVICIOS (EA)

EAP01A, Bomba de agua de servicios A.

EAP01B, Bomba de agua de servicios B.

EA170, Válvula de llenado del tanque elevado de agua de servicios.

SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO (KA)

KA125, Válvula de comunicación de los tanques de aire de instrumentos y aire de servicios.

SISTEMA DE VAPOR AUXILIAR (KE)

KE021, Válvula de vapor auxiliar al eyector de arranque.

KE022, Válvula de vapor auxiliar al eyector de servicio A.

KE023, Válvula de vapor auxiliar al eyector de servicio B.

KE010, Válvula de calentamiento de fondo de desgasificador.

KE013, Válvula mantenedora de presión del desgasificador.

Lazos de control de la central Trinitaria:

Los lazos de control implementados en el sistema de control distribuido se basan en un algoritmo llamado PID con zona muerta. esta característica de zona muerta es una porción de la respuesta del lazo en la que se define una ganancia proporcional diferente a la que tiene el lazo fuera de esta zona.

Este hecho de variación de la ganancia proporcional en la zona muerta, se puede expresar por medio de la siguiente expresión:

$$K_p = K_1 \times [(1-K_6) \times \text{desviación}]$$

El cambio de la ganancia proporcional se muestra en la figura 3.2

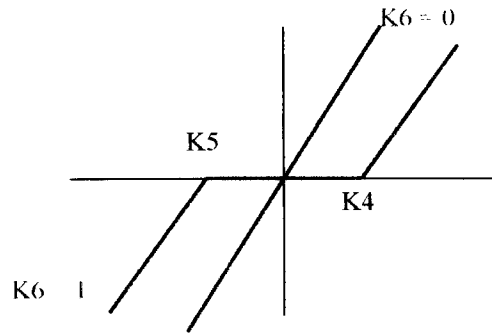


Figura 3.2. Variación de la acción proporcional

Pero esta zona muerta puede tener variaciones que se pueden ajustar según las necesidades del proceso o requerimientos de la operación como se muestra en la figura 3.3.

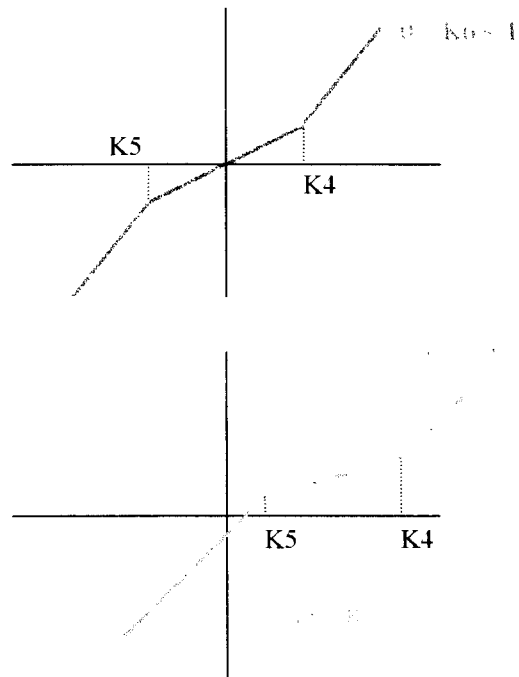


Figura 3.3. Diferentes esquemas de aplicación de la zona muerta

El algoritmo del lazo de control posee las siguientes entradas, que se observan en la figura 3.4:

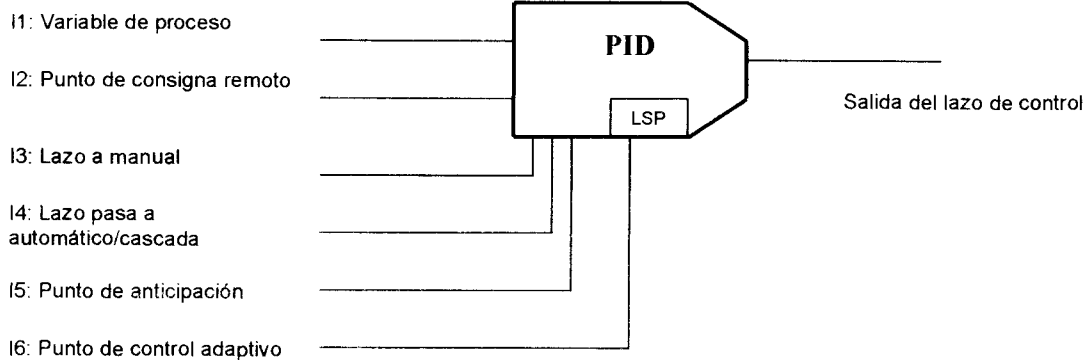


Figura 3.4

Entradas al bloque de lazo de control con zona muerta

La siguiente lista incluye todos los lazos de control programados en el sistema de control distribuido para la central térmica Trinitaria:

- 11: Variable de proceso
 - 12: Punto de consigna remoto
 - 13: Lazo a manual
 - 14: Lazo pasa a automático/cascada
 - 15: Punto de anticipación
 - 16: Punto de control adaptivo
9. Lazo de control de temperatura de vapor sobrecalentado
 10. Lazo de control de presión de aire de sellado de penthouse
 11. Pantalla de presión de aire de sellado del vestíbulo
 12. Lazo de control de temperatura de fuel-oil a la salida del tanque diario A
 13. Lazo de control de temperatura de fuel-oil a la salida del tanque diario B
 14. Lazo de control de temperatura de fuel-oil a la salida del tanque principal
 15. Lazo de control de aire de atomización en los ignitores
 16. Lazo de control de presión de vapor auxiliar
 17. Lazo de control de vapor de atomización a quemadores
 18. Lazo de control de presión de vapor a sopladores
 19. Lazo de control de presión de vapor al desgasificador
 20. Lazo de control de presión de vapor al interior del desgasificador
 21. Lazo de control de nivel del calentador de baja presión #2
 22. Lazo de control de nivel del calentador de baja presión #3

- 23. Lazo de control de nivel del calentador de alta presión #5
- 24. Lazo de control de nivel del calentador de alta presión #6
- 25. Lazo de control de exceso de oxígeno

Como se observa en la figura 3.5 se tiene la

variable de proceso, el primer panel del PID donde se coloca el punto de consigna, el segundo panel del PID donde se coloca el lazo en manual o automático y se puede controlar la válvula de salida y el último panel que es la realimentación de campo con la posición actual de la válvula.



Figura 3.5. Pantalla de control del lazo de presión de diesel-oil a quemadores.

Para cada uno de los lazos se elaboró una pantalla de control, en la cual el operador puede colocar el punto de consigna (set-point), poner el lazo en automático o manual y si el lazo está en manual, el operador puede actuar directamente sobre la válvula, como se la observa en la figura 3.5.

4. RESULTADOS

La evaluación de los resultados de funcionamiento del sistema de control distribuido se lo hizo por medio de protocolos, en los cuales, en presencia de personal de la fiscalización de INECEL y BABCOCK & WILCOX ESPAÑOLA, se procedió a examinar la programación y funcionamiento de

cada elemento y luego se hacía el protocolo de recepción.

Los resultados de la implementación del sistema de control distribuido se pueden dividir en dos grupos:

- Resultados de la aplicación de la lógica de dos estados.
- Resultados de la aplicación de los lazos de control.

Los resultados de la aplicación de la lógica de dos estados (a los dispositivos controlados por medio de salidas de tipo ON/OFF), fueron exitosos, aunque en algunos casos se debió cambiar la lógica operativa de ciertos equipos

para acoger las solicitudes y sugerencias de los diferentes supervisores de puesta en marcha de los equipos.

Los resultados de la aplicación de los lazos de control, también se registraron por medio de protocolos, un ejemplo de protocolo de regulación se presenta en la figura 4.1:

El protocolo de aceptación está compuesto por la hoja de presentación, firmada por las diferentes partes, pantallas de los parámetros programados en cada lazo y pantallas de línea de registro que muestra el comportamiento de los lazos de control ante diversas perturbaciones creadas al proceso para observar la regulación de cada lazo utilizando los parámetros de control programados.

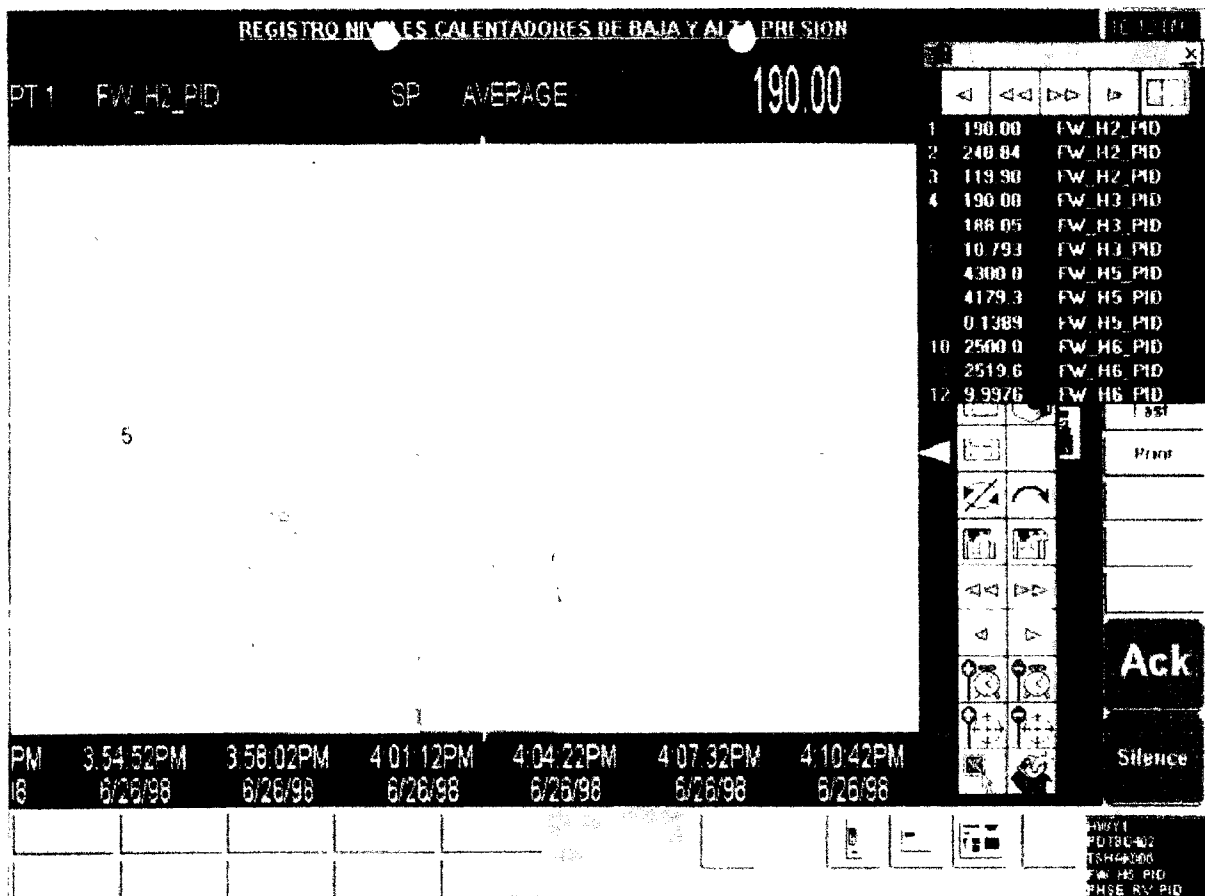


Figura 4.1. Pantalla de registro de los lazos de control de los niveles de los calentadores.

En la pantalla mostrada en la figura 4.1 se aprecia el lazo de control de regulación del calentador de alta presión No.5, en esta pantalla se puede observar en la línea #7 el punto de consigna del lazo, en la línea #8 la variable de proceso, ambas señales graficadas desde 3750 mm a 4600 mm, es decir un rango de 850 mm y la línea #9 que es la salida del lazo de control a la válvula de regulación del drenaje, que va del 0% al 100%.

Obsérvese que los dos primeros cambios de punto de consigna regula bastante bien, nótese el tercer cambio, donde el punto de consigna, supera la alarma de alto nivel del calentador y se abre la válvula de drenaje de emergencia, como se produce la oscilación del nivel, cada vez que el agua supera el nivel de alarma y se abre el drenaje de emergencia y posteriormente se cierra y vuelve el lazo a tratar de llevar el nivel al punto de consigna.

Obsérvese que luego al bajar el punto de consigna a un nivel normal, la regulación es bastante rápida, cabe indicar que se puede observar las líneas #10, 11, 12 correspondiente al calentador No.6 que está interconectado al No.5 y como al oscilar el calentador No.5, de igual forma es afectado el No.6 y como al estabilizarse el No.5, el No.6 se estabiliza posteriormente.

Con pantallas de registro como esa se hicieron los protocolos de todos los lazos de control.

5. CONCLUSIONES

1. El sistema de control distribuido fue una implementación exitosa y está entregando resultados adecuados y en muchos casos mejores que los previstos y esperados. El personal de INECEL reconoce las bondades del sistema y está muy interesado en proyectos futuros de modernización de unidades de generación con sistemas como el que se ha instalado en Trinitaria.
2. El sistema de control distribuido es un sistema idóneo y apropiado para el control de este tipo de procesos, la característica de tener la "inteligencia distribuida", sus capacidades de comunicación que permiten comunicaciones estándar e interfaces a otros controles ya preprogramados en software y las características operativas de las unidades de procesamiento distribuido, permiten una cantidad muy grande de controles, señales de entrada y salida de diferentes tipos, aparte de presentar la gran ventaja de permitir supervisión centralizada en la sala de control o supervisión remota en oficinas centrales de mantenimiento, operación y gerencia como se lo hizo en este proyecto.
3. Las pantallas se han hecho adecuadamente de forma que el operador siempre visualice el flujo del proceso y se ha puesto sobre este flujo de proceso, todas las señales de instrumentación recibidas de campo para que la información sea siempre completa y requiera de la menor cantidad de navegación entre pantallas. Toda la

información que se presenta es necesaria para la operación de la unidad, fácil de analizar y los operadores e ingenieros de turno y mantenimiento están en capacidad luego del entrenamiento que se les impartió de trabajar con esta información, interpretarla y tomar decisiones al respecto.

4. Las pantallas de registro son la mayor fuente de información del comportamiento de la unidad controlada por el sistema de control distribuido y fue uno de los primeros puntos que el personal de INECEL quiso que se tratara durante el entrenamiento. posterior al entrenamiento, cada operador e ingeniero de turno elaboraba sus propias pantallas de registro con la información que cada uno deseaba ver. Estas pantallas de registro ofrecen características muy importantes para operación y análisis como es la capacidad de visualizar los gráficos históricos, sea primario o expandido. El tiempo en una sola pantalla o hacer zoom en alguna zona importante de dicho gráfico para ser a nivelizar en la pantalla siguiente. La de tener una pantalla para cada canal de medida de la planta, para poder tener un registro de cada una de ellas. La posibilidad de tener una pantalla para cada canal de medida de la planta, para poder tener un registro de cada una de ellas. La posibilidad de tener una pantalla para cada canal de medida de la planta, para poder tener un registro de cada una de ellas.

5. Este tipo de sistemas puede ser utilizado en otro tipo de procesos tales como refinerías, plantas petroquímicas, plantas cementeras y otras grandes aplicaciones, así también como para aplicaciones pequeñas, pero en aplicaciones pequeñas, el costo del sistema de control distribuido se vuelve bastante representativo.

6. RECOMENDACIONES

1. En proyectos de gran tamaño como es el caso de la central térmica Trinitaria, es de gran importancia que el personal que formará parte del equipo de operación y supervisión, sea escogido adecuadamente, sobre una base de conocimientos y experiencia mínimos requeridos que ayudarán en su aprendizaje futuro y agilizarán el traspaso de la operación de manos del constructor a manos del cliente.
2. La capacidad de tener una pantalla para cada canal de medida de la planta, para poder tener un registro de cada una de ellas. La posibilidad de tener una pantalla para cada canal de medida de la planta, para poder tener un registro de cada una de ellas. La posibilidad de tener una pantalla para cada canal de medida de la planta, para poder tener un registro de cada una de ellas.

3. El sistema de control distribuido no requiere de mayor mantenimiento, entre los puntos que se deben tener en cuenta, se puede citar a las computadoras de supervisión, los cuales si requieren una limpieza cada mes, considerando el ambiente en el que se encuentra la central, cambio o limpieza de los filtros de aire de refrigeración de los gabinetes, aspiración del interior de los gabinetes para eliminar el polvo acumulado y una vez cada seis meses comprobar la calibración de los módulos de entradas analógicas de alto nivel y de las salidas analógicas, buscando comprobar exactitud en las lecturas y en las salidas, en caso que lo amerite, se deberá cumplir con el procedimiento de calibración de estos módulos, procedimiento que fue enseñado durante el entrenamiento al personal de mantenimiento de la central.

7. BIBLIOGRAFIA

- MANUAL ON INSTALLATION OF REFINERY INSTRUMENTS AND CONTROL SYSTEMS, Part IV – Steam Generators, First Edition, API American Petroleum Institute, 1975.
- MANUAL DE INSTRUCCIONES Y OPERACIÓN DE UNA CALDERA REDIANTE TIPO E, PARA LA CENTRAL TERMICA TRINITARIA, Primera edición, Babcock & Wilcox Española, 1997.
- GRUPO TURBO – ALTERNADOR PARA LA CENTRAL TERMICA TRINITARIA, Primera Edición, ABB Asea Brown Boverly, 1994.
- KKS POWER STATION DESIGNATION SYSTEM, Primera Edición, ABB Asea Brown Boverly, 1978.
- QUALIFICATIONS FOR MODERNIZATION OF 130 MW PLANT IN GUAYAQUIL, ECUADOR, MAX Control Systems, 1995.
- MODEL 540 WORKSTATION RELEASE E.1. MAX Control Systems, 1996.
- OVERVIEW & OPERATION MAX1000 Release E.1, Volume 1, MAX Control Systems, 1996.
- INSTALLATION & MAINTENANCE MAX1000 Release E.1, Volume 2, MAX Control Systems, 1994.
- ENGINEERING Part 2 MAX1000 Release E.1, Volume 3, MAX Control Systems, 1995.
- MAX CONTROL SYSTEMS CUSTOMER CARE PROGRAM, MAX Control Systems, 1996.