

24.25



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FAULTAD DE INGENIERIA

APLICACION DE CONTROLADORES PROGRAMABLES EN EL CONTROL LOGICO DE CALDERA EN LA TERMoeLECTRICA VALLE DE MEXICO UNIDAD 4

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A :
ARTURO CAMACHO MENDIETA

Director: Ing. Alejandro Jimenez Hernández



México, D.F.

1988



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

PAGINA

CAPITULO I ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Generalidades	1
1.2 Modernización una alternativa de solución	3
1.3 CENTRAL TERMoeLECTRICA "VALLE DE MEXICO"	4

CAPITULO II NORMALIZACION DE EQUIPO DE CONTROL

2.1 Generalidades	7
2.2 Objetivo de la normalización	9
2.3 Organización de los sistemas	10
2.4 Funciones de los sistemas normalizados	11
2.5 Estructura de los sistemas	13
2.6 Jerarquias de control	14
2.7 Visualización de la organización funcional del control de quemadores	17

CAPITULO III LOGICAS DE OPERACION

3.1 Generalidades	20
3.2 DCL-101	23
3.2.1 Purga	23
3.2.2 Reestablecimiento de combustibles (gas)	25
3.2.3 Reestablecimiento de combustibles (aceite)	27
3.3 DCL-102	29
3.3.1 Arranque mediante aceite	29
3.3.2 Arranque mediante gas	31
3.4 DCL-103	33
3.4.1 Paro del quemador (gas)	33
3.4.2 Paro del quemador (aceite)	34
3.4.3 Limpieza del quemador	34
3.5 DCL-104	36
3.6 DCL-105	37

CAPITULO IV DESCRIPCION DEL SISTEMA

4.1 Configuración del sistema	38
4.2 Filosofía de funcionamiento	39

4.3 Modos de operación	40
4.4 Funciones del control de grupo	41
4.5 Funciones del control de subgrupo	42
4.6 Funciones del control de información	43
4.7 Control lógico	45
4.7.1 Control lógico secuencial	48
4.7.2 Control lógico combinacional	49
4.7.3 Control lógico de protecciones	50
4.8 Esquema de prioridades	51
4.9 Esquema de respaldo	51
4.9.1 Respaldo a nivel de grupo	52
4.9.2 Respaldo a nivel de subgrupo	52
4.10 Redes de comunicación	52
4.10.1 Formato del mensaje	53

CAPITULO V PROGRAMACION DEL SISTEMA

5.1 Generalidades	54
5.2 Programas de aplicación	54
5.3 Programas en el control de grupo	56
5.4 Programación en el control de unidad y combustibles	59
5.5 Programación en el control de información 1	62
5.6 Programación en el control de información 2	64
5.7 Programación en el control de quemadores	66
5.8 Puesta en servicio	71

CONCLUSIONES	73
--------------	----

APENDICE A	75
------------	----

APENDICE B	99
------------	----

INTRODUCCION

La central termoeléctrica Valle de México es una planta que cuenta con cuatro unidades, alimentadas mediante gas y combustóleo, por su cercanía al Distrito Federal esta planta es de gran importancia ya que puede suministrar una parte considerable de la demanda existente en esta capital.

Dentro de Comisión Federal de Electricidad (CFE), el mantener una planta como Valle de México en operación continua y con disponibilidad máxima de generación, significa darle mayor estabilidad a la red nacional.

Para lograr la disponibilidad de generación máxima en una unidad termoeléctrica es necesario mantener todos sus sistemas en condiciones óptimas de operación, uno de estos es el control de quemadores ya que mediante este la unidad puede lograr un arranque, paro y operación continua. Además al contar con un buen control de quemadores los arranques pueden ser más rápidos, proporcionándole a la unidad una mayor capacidad para retomar carga del sistema eléctrico nacional.

Como se mencionó anteriormente esta central cuenta con cuatro unidades de las cuales la unidad cuatro ha venido operando con dificultades en su control de quemadores, es por esto que CFE otorgo al Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) la tarea de implantar un sistema de control tal que se pueda adaptar a las condiciones actuales de la unidad sin que esto requiera de una gran cantidad de equipo adicional.

Para poder lograr el objetivo el IIE propuso un sistema

de control lógico distribuido el cual no presenta cambios en la filosofía de operación, es transparente para el operador, utiliza la infraestructura ya existente en la planta y proporciona un alto grado de confiabilidad a la unidad.

El sistema de control distribuido propuesto por el IIE es un sistema basado en controladores lógicos programables (PLCs), lo que lo hace un sistema flexible capaz de adaptarse a cualquier proceso de control lógico, razón por la que el equipo adicional que requiere es mínimo logrando grandes ahorros para la CFE, otra ventaja es que por tratarse de un equipo desarrollado con tecnología mexicana la disponibilidad de partes es elevada comparada con equipos de fabricación especial, además al adquirir este tipo de equipos se fomenta el desarrollo de tecnología propia. Otra característica importante es que este sistema proporciona una vigilancia constante en la operación de la unidad evitando posibles problemas por errores de operación.

Para la CFE esta será la primera implantación de un sistema de control distribuido y un gran paso en la automatización de sus unidades.

Este trabajo tiene por objetivo describir la implantación del control de quemadores de la unidad número cuatro de la central termoeléctrica Valle de México, así como una breve descripción del sistema de control distribuido "SISTEMAX" con que se realizó el proyecto.

El capítulo uno contempla un panorama general de antecedentes del desarrollo del control, un planteamiento de la

modernización como una alternativa en la generación de satisfactores y una descripción del problema que existe y la solución que se plantea para la unidad cuatro de la central termoeléctrica Valle de México.

El capítulo dos describe los aspectos referentes a la normalización que CFE intenta implantar en los sistemas de control de sus unidades generadoras.

El capítulo tres describe brevemente el problema de la unidad en cuestión, así como las características principales de la caldera de dicha unidad y las lógicas de operación del control de quemadores.

El capítulo cuatro describe las principales características del sistema de control "SISTEMAX".

El capítulo cinco describe las estructuras de programación del control de grupo, unidad y combustibles, información uno y dos y quemadores.

El apéndice A contiene una amplia descripción de antecedentes de control, de modernización de equipos de control en plantas termoeléctricas y un panorama extenso del problema tratado en este trabajo.

El apéndice B muestra a detalle todas las lógicas de operación del control de quemadores.

1 ANTECEDENTES GENERALES

1.1 GENERALIDADES

A lo largo del desarrollo industrial, se ha observado la necesidad de contar con sistemas de control, cada vez más sofisticados.

Es así como el control ha pasado por diferentes etapas de desarrollo tales como el control manual, semiautomático y automático.

Otro gran impulso al desarrollo del control fue dado durante la segunda guerra mundial, donde las necesidades de comunicación ocasionaron que éstas se desarrollaran rápidamente. Al final de la guerra se desarrollaron circuitos electrónicos basados en bulbos, sin embargo con la llegada de los semiconductores en esa misma década, los primeros fueron sustituidos rápidamente.

Los semiconductores establecieron cambios radicales en los circuitos electrónicos de control, ya que a la fecha los controladores con microprocesadores tienen dimensiones de pocos centímetros.

Ya con la presencia de circuitos electrónicos a base de semiconductores, el siguiente paso fue el uso de computadoras en tareas de control.

La primera tarea de la computadora fue la adquisición de datos y registro de los mismos, posteriormente el control supervisorio y finalmente el control digital.

En un principio existió mucha desconfianza en la

aplicación de la computadora en tareas de control debido a la novedad de las mismas, lo que ocasionó que su uso no se generalizara rápidamente.

Con la llegada de los circuitos LSI se incrementó la capacidad de realización de los sistemas computarizados.

En la actualidad existen dos tipos de controles electrónicos, alambrados y programables, el primero requiere únicamente del circuito para trabajar y el segundo además del circuito, también requiere de un programa para trabajar. A los controles electrónicos programables se les conoce con el nombre de controladores lógicos programables (PLC's), este tipo de controles ofrecen ventajas muy grandes con respecto a los controles alambrados y es por esto que su uso se está generalizando en aplicaciones sofisticadas.

Sin embargo aunque los PLC's ofrecen una alternativa muy amplia en aplicaciones de control, aún requieren de relevadores electromagnéticos en algunos casos.

En México existen compañías que distribuye controladores programables entre las más importantes podemos mencionar Siemens y Modicon, la primera es distribuidora de sus propios controladores y la segunda es distribuidora de Gould. Una característica especial es que ninguno de las dos desarrolla sus equipos en México, lo cual implica que siempre que se adquiera un equipo de estos, se este comprando tecnología, que a final de cuentas se transforma en capital que sale del país. Por ejemplo en el caso de Siemens, si contratan un proyecto de magnitud considerable este es desarrollado en Alemania. Además

estos equipos son cotizados en dolares y en marcos alemanes al tipo de cambio existentes a la fecha de entrega.

Estas características realzan la necesidad de desarrollar este tipo de equipo por mexicanos. Esta ha sido la inquietud del Instituto de Investigaciones Eléctricas al desarrollar una línea de controladores programables (SAC). Es cierto que si se compara un controlador de Siemens con uno de la línea SAC, la diferencia es grande sin embargo todo desarrollo de tecnología trae asociado el desarrollo de prototipos que deben ser mejorados conforme se adquiera mayor experiencia.

Sin embargo si en México se desarrollara tecnología sin importar que en un principio estuviera por debajo de la extranjera, llegaría el momento en que se convertiría en tecnología competitiva y se podrían eliminar importaciones, reducir costos y en general se beneficiaría a la planta industrial nacional.

1.2 MODERNIZACION UNA ALTERNATIVA DE SOLUCION

En la actualidad la modernización de equipos existentes en plantas industriales se presenta como una alternativa de solución en la generación de satisfactores.

Los altos costos que alcanzan los bienes de capital aunado a la crisis económica que vive nuestro país no le permiten darse el lujo de construir centrales generadoras de energía eléctrica, con la rapidez con que la demanda se incrementa, es por esto que en la actualidad la tendencia

dentro de la CFE es a rehabilitar aquellas unidades que a la fecha se había permitido estuvieran operando con fallas continuas y ocasionando cuantiosas pérdidas.

Dentro de estas modernizaciones que se busca realizar en las unidades se requiere que el equipo cubra las especificaciones de las normas que actualmente se utilizan sin que esto traiga como consecuencia que el equipo tenga que ser adaptado mediante otro más costoso.

En el caso de equipo de control es fácil observar que los controles lógicos programables le ofrecen a la CFE una buena alternativa de solución, ya que no requieren de mucho equipo adicional para implantar sistemas que sustituyan a los actuales, además que ofrecen una gran flexibilidad para amoldarse a la situación actual de cualquier planta.

1.3 CENTRAL TERMOELECTRICA " VALLE DE MEXICO "

La central termoeléctrica "Valle de México" es una planta que cuenta con cuatro unidades, de las cuales la unidad cuatro tiene una capacidad de 300 MW, ha presentado fallas continuas de operación, entre las más significativas podemos mencionar el equipo de sincronización de la unidad y el control lógico de la caldera, motivos por los cuales la unidad ha estado fuera de servicio una considerable cantidad de tiempo. El primer problema ya fue solucionado y el segundo será el que ocupe la atención de este trabajo.

El equipo original de control lógico de la caldera cuenta con tres gabinetes llenos de relevadores electromagnéticos,

cajas de control local para cada quemador, alambrado de señales desde la caldera hasta un cuarto de gabinetes y alambrado de interconexión del cuarto de control al cuarto de gabinetes.

Tomando en consideración estas características Comisión Federal de Electricidad otorgó al Instituto de Investigaciones Eléctricas la tarea de implantar un sistema de control propuesto por este último.

Este sistema cuenta con una serie de características que lo colocan en un sitio especial; es el primer sistema de control distribuido desarrollado en México con tecnología mexicana, de acuerdo al plan de reconversión industrial, el sistema en su totalidad tiene un precio bajo en comparación con sistemas de marcas como Siemens o Gould. Al ser de fabricación mexicana existe una disponibilidad de partes rápida en comparación con los demás equipos que, al ser de importación, y con partes no comerciales requieren de una gran cantidad de tiempo de fabricación especial y de trámites aduanales, además con el equipo nacional existe un manejo más adecuado de carga entre la unidad y el sistema nacional, un tiempo de reposición menor después de algún disparo, un tiempo de arranque menor, y además para CFE es la primera aplicación de un sistema de control distribuido en una de sus unidades y un paso en la modernización de aquellas unidades que aún pueden hacer más redituable su inversión al permanecer un mayor tiempo en operación que fuera de servicio.

Para llevar a cabo la implantación del nuevo sistema,

éste deberá adaptarse a las normas con que CFE está rigiendo actualmente sus sistemas de control, en este caso la norma J-100.

2 NORMALIZACION DE EQUIPO DE CONTROL

2.1 GENERALIDADES

En los procesos industriales siempre se ha requerido de dispositivos y elementos que permitan su operación y control no importando la complejidad de esos procesos. Al diseñar las plantas industriales se deben tomar en cuenta esas necesidades, y cubrir mejoras para obtener sencillez y facilidad de operación o la optimización de ciertas funciones que permitan información más exacta y más rápida, esto obliga a plantear soluciones complejas, de acuerdo a las necesidades y tamaño de cada proceso.

Las soluciones consisten en aplicar sistemas que puedan manejar cada uno de los aspectos primordiales que intervienen en un proceso y utilice esas características de tal forma que se obtenga la información requerida para el gobierno de ese proceso.

Es por estas razones que la Comisión Federal de Electricidad intenta actualmente modernizar y normalizar sus equipos de control en plantas termoeléctricas, comenzando con aquellas que han presentado continuas dificultades de operación, así como en las unidades nuevas.

Una de estas unidades es la número 4 perteneciente a la central termoeléctrica "Valle de México" en la cual, han existido problemas de operación relacionados con el control lógico de la caldera, donde se incluye el control de quemadores, más no el de combustión. Para este problema la

Comisión Federal de Electricidad contrató los servicios del Instituto de Investigaciones Eléctricas, el cual se responsabilizó en entregar un sistema de control "Sistemax" capaz de cumplir con las tareas del control lógico de la caldera y que además se ajuste en lo posible a las normas empleadas por la CFE, en el campo de la instrumentación, esta norma es la denominada J-100. El sistema tendrá que estar normado por la J-100 además de que tendrá que guiarse por los siguientes criterios:

- La interface hombre-máquina deberá ser la misma. El personal de operación no deberá notar ningún cambio desde la consola de control o desde la caja de control local.
- La filosofía de operación no deberá ser afectada, salvo en los cambios sugeridos por el usuario.
- Para limitar los costos de instalación, toda la infraestructura disponible tendrá que ser utilizada.
- La instalación del nuevo sistema tendrá que ser realizada durante el periodo de mantenimiento mayor de la unidad.

A continuación se realizará una breve descripción de lo que es idealmente un sistema que se apegue fielmente a la norma, cual es su objetivo y por último, una mención de los principales puntos de ésta haciendo analogía con el sistema diseñado por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) "Sistemax".

Un sistema de instrumentación control y automatización es el conjunto de dispositivos, instrumentos, controles, tableros,

gabinetes, cableado y accesorios, que se encuentran interconectados entre sí bajo una filosofía uniforme para cumplir con las siguientes funciones:

- El arranque y paro del proceso en forma ordenada, segura y económica, siguiendo las instrucciones de un mando maestro. En el caso de una central termoeléctrica, la unidad quedaría controlada por el centro nacional de control de energía.
- Mantener la operación de la planta estable y segura en todo momento aún en las variaciones de carga y fallas, considerando la influencia de todos los componentes.

2.2 OBJETIVO DE LA NORMALIZACION

Se pretende que los sistemas regidos por esta norma, logren que una planta industrial funcione con seguridad, tanto para el personal como para el equipo, y con una gran disponibilidad de cada uno de los equipos y elementos que la forman. Esto último es determinante en el caso de una central termoeléctrica, en donde se debe tener continuidad de servicio extrema.

Tomando en cuenta la continuidad en el servicio, es necesario una operación óptima, que puede ser comandada por el tipo de sistema en cuestión en forma sencilla.

La presencia de un sistema regido por la norma J-100 en una planta industrial, permite reacciones rápidas y seguras de los operadores y equipos, cuando hay perturbaciones en el proceso, además, los errores de manejo pueden evitarse, ya que

la automatización limita o previene esas acciones. Estos sistemas proporcionan también una gran cantidad de información sobre los diferentes parámetros de la planta que hacen posible un análisis más exacto de los estados de la misma y de las perturbaciones, además de captar las tendencias de los parámetros para detectar por adelantado las futuras perturbaciones. Esas acciones se realizan en forma cómoda, ya que se puede tener acceso a toda la información desde un cuarto de control, de donde se realiza el manejo de la planta.

2.3 ORGANIZACION DE LOS SISTEMAS

Para cubrir las necesidades de automatización de cada proceso estos sistemas se organizan como se muestra en la figura 2.3.1.

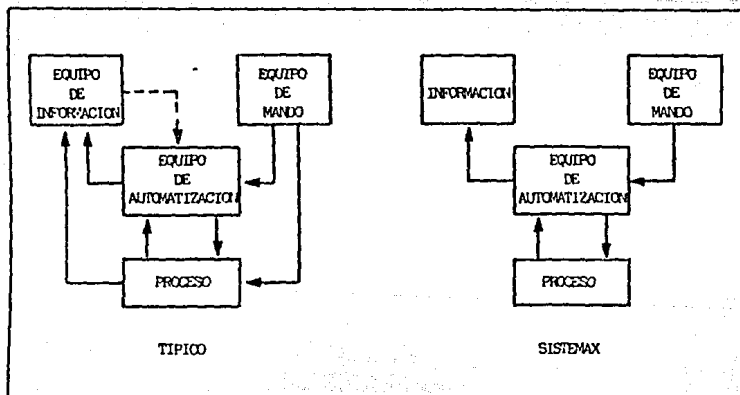


Fig. 2.3.1 Organización del SISTEMAX.

En la figura anterior podemos observar un sistema con organización típica, y el SISTEMAX, en ambos el núcleo del sistema es el equipo de automatización, el cual procesa tanto las señales que recibe de campo y las entrega al operador a través del equipo de información, como las señales que recibe del operador a través del equipo de mando y las que entrega al proceso.

A continuación se enlista una serie de requerimientos con los que debe cumplir el equipo de automatización, y a un lado, entre paréntesis, se colocará el nombre que recibe la característica en el Sistemax, en caso de que se trate de una característica con la que el sistema cuente pero no reciba un nombre específico, se anotará simplemente (Sistemax).

- Lenguaje uniforme (Lenguaje LX).
- Señalización uniforme para las condiciones de proceso, perturbaciones y retroavisos (Sistemax).
- Tecnología de circuitos integrados (Microprocesador 8085).
- Arquitectura modular de bastidores en gabinetes (Sistemax).
- Redundancia de mediciones críticas (Sistemax).
- Sistema de diagnóstico de fallas con presentación de mensajes al operador para la detección inmediata de equipo dañado o incongruencia de operación (Sistemax).
- Alimentación redundante y uniforme (Sistemax).

2.4 FUNCION DE LOS SISTEMAS NORMALIZADOS

Un sistema normalizado debe abarcar las áreas que se

muestran en la figura 2.4.1 .

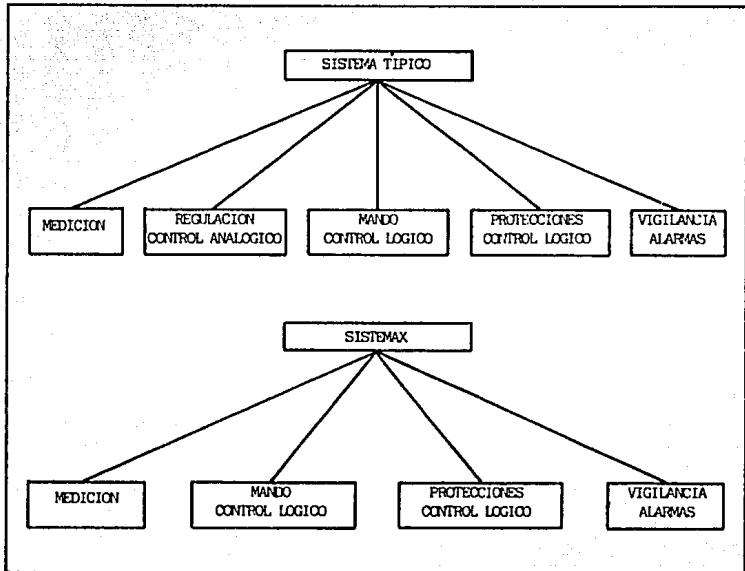


Fig. 2.4.1 Areas funcionales de los sistemas.

- Cuarto de control, donde se encuentran centralizados todo tipo de equipo de mando.
- Medición que permite conocer los valores y los estados de las variables.
- Regulación, que manipula los parámetros para que alcancen los valores de ajuste en caso de contar con control analógico.
- Mando, que maneja los estados de las variables a través de

los botones que existen en la consola de control (control lógico).

- Protección, que mantiene una red de circuitos independientes de los circuitos de operación para proteger a los equipos de un mal manejo.
- Vigilancia, que cubre varios aspectos de supervisión como son:

- * El sistema de alarmas para el anuncio de las situaciones anormales
- * El sistema de adquisición de datos

2.5 ESTRUCTURA DEL SISTEMA.

Como se ha mencionado, el equipo de operación, que es accionado por el hombre, está ubicado dentro de un cuarto de control en los tableros y consolas.

Las señales generadas ahí son recibidas por los elementos de control lógico, los cuales las procesan para entregarlas a su vez a los elementos que sirven de interfaz con los accionamientos.

El proceso se modifica de acuerdo a las nuevas posiciones de los accionamientos, dando por resultado un cambio en los valores de las variables que están siendo medidas. Los medidores detectan estos cambios y envían sus señales a los acondicionadores, los cuales las convierten en señales de niveles apropiados para ser recibidas por el resto del equipo del sistema, como puede ser el control lógico, la lógica de

protección, o los acondicionadores de la información.

Los acondicionadores de señales y las interfaces con los accionamientos, son los grupos que están en contacto con el proceso, y por eso requieren de sistemas de aislamiento para asegurar que los equipos funcionen sin interferencias extrañas a sus circuitos. A esa fase de la organización del sistema se le denomina "Nivel de Aislamiento". Al resto de grupos que forman el sistema se les denomina "Nivel o Grupo Automático".

Los valores de señal que usualmente reciben los acondicionadores son 0-24 volts para señales binarias y 4-20 mA para señales analógicas en caso de manejarlas. En la figura 2.5.1 se aprecia un esquema de la estructura típica de un sistema.

2.6 JERARQUIAS DE CONTROL (GRADOS DE AUTOMATIZACION)

La automatización se basa primordialmente en el control lógico y se aplica con diferente grado o nivel en los procesos, dependiendo de las necesidades particulares de operación, y de la complejidad de dichos procesos.

Los niveles jerárquicos de la automatización en una central termoeléctrica son:

Control de Grupo. En este nivel se realizan las tareas de coordinación de los subgrupos.

Control de Subgrupo. En este nivel se coordinan funciones más específicas dentro del proceso que son: paro, arranque y operación.

En la figura 2.6.1 se observa la arquitectura con que

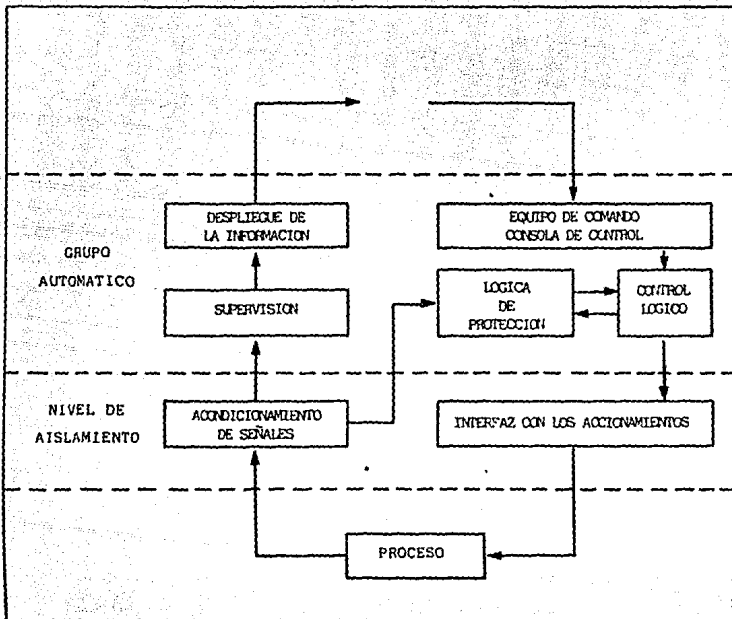
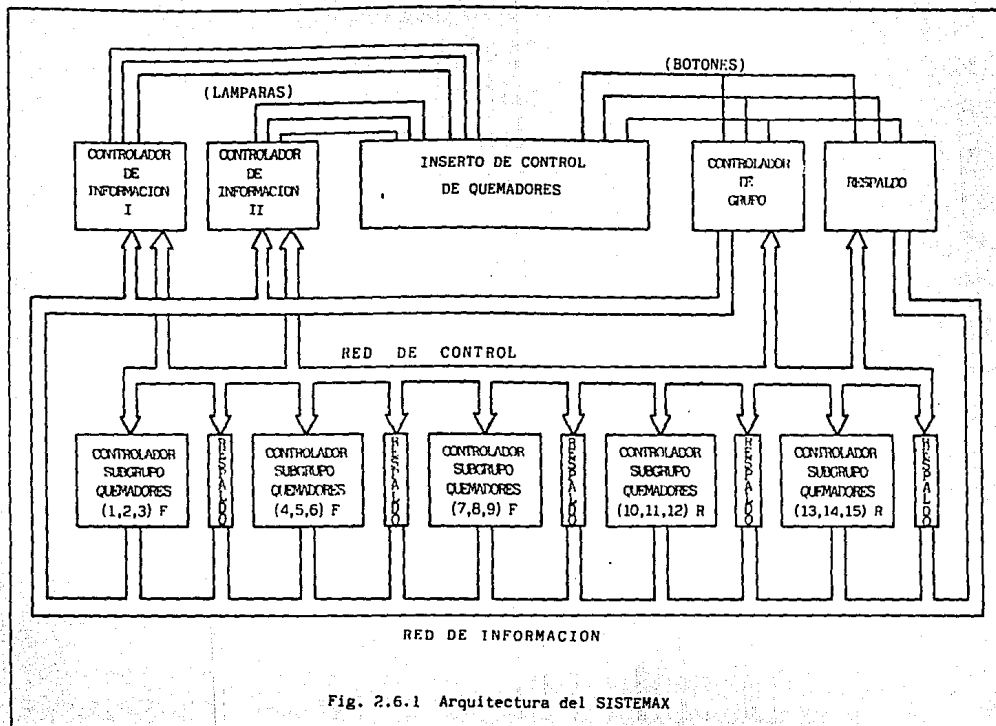


Fig. 2.5.1 Estructura típica de un sistema normalizado.

cuenta el Sistemax, en ésta podemos apreciar que existen dos tipos de redes; la de control y la de información, en ambos casos los controladores de subgrupo ocupan el segundo lugar, dejando el primero al controlador de grupo en la red de control, y el primer lugar a los de información 1 y 2 en la red correspondiente.



Aplicando estos conceptos a los procesos, se observa, que en procesos simples puede ser suficiente el empleo de controles parciales o de subgrupo para manejar los accionamientos.

En otros casos en que los procesos sean más complejos, se requerirá el empleo de un grado mayor de automatización. Tal es el caso de las centrales termoeléctricas donde los controles de grupo sí son requeridos. Existe un grado mayor de automatización, denominado control de unidad, sin embargo este tipo de control sólo se emplea en procesos cuyos parámetros tengan variaciones poco amplias y hasta cierto punto predecibles, esta restricción es debida a que la aplicación del control de unidad implica una reducción en la flexibilidad de operación.

En la figura 2.6.2 se muestra un arreglo representativo de los niveles de automatización.

El estilo de operación de una central termoeléctrica obliga a aplicar un grado de automatización tal, que permita una gran flexibilidad con la presencia de variaciones en diversos parámetros, esto conduce a la utilización de controles de grupo como grado máximo de automatización, lo que permite el manejo apropiado de los parámetros y sistemas críticos de la planta sin perder flexibilidad de operación.

2.7 VISUALIZACION DE LA ORGANIZACION FUNCIONAL DEL CONTROL DE QUEMADORES

En la figura 2.7.1 se muestra un grupo funcional o área

funcional (quemadores), en donde se puede apreciar la ubicación

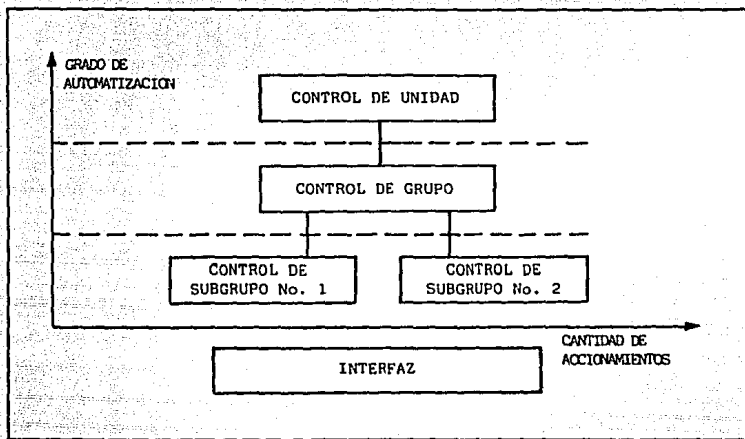


Fig. 2.6.2 Niveles de automatización.

de los controles de grupo y de subgrupo. El control de grupo se encarga de los controladores de subgrupo y estos últimos del control directo de los quemadores.

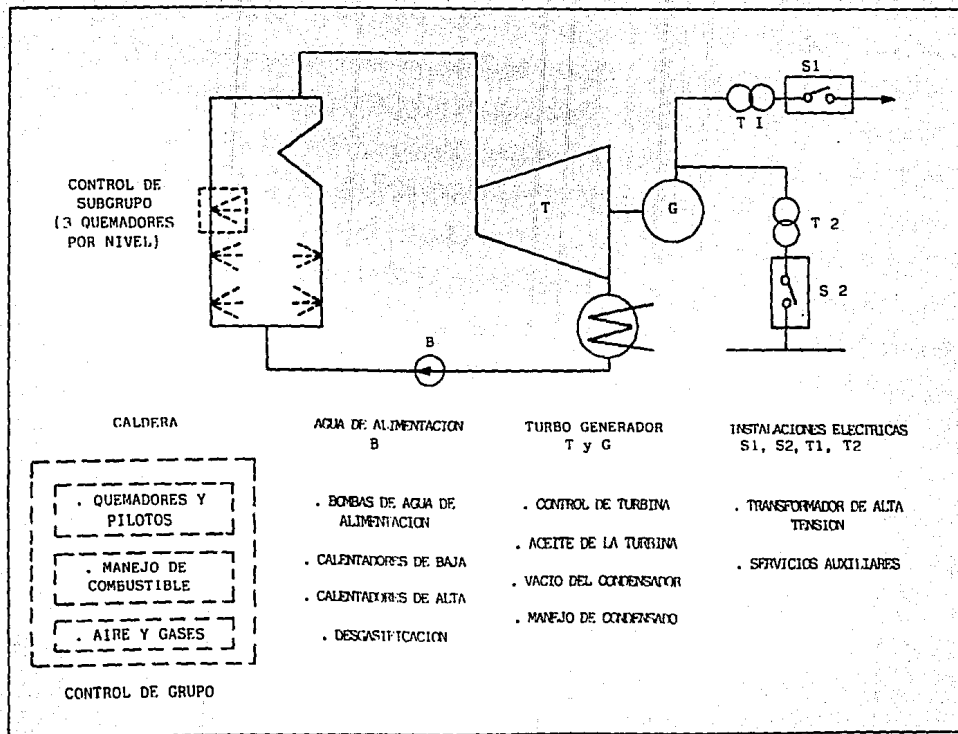


Fig. 2.7.1 Visualización de áreas funcionales (control de quemadores)

3 LOGICAS DE OPERACION

3.1 GENERALIDADES

Como hemos mencionado hasta este punto, las lógicas de operación serán en sí las que manejen a los elementos finales de control, es por esto que se consideran los componentes más importantes de los sistemas.

En el caso de sistemas de control basados en PLCs el manejo de las lógicas se vuelve más flexible, ya que si se comete algún error en las consideraciones, éste puede ser corregido con relativa facilidad eliminando así problemas de operación.

Para la CFE este tipo de sistemas son buenos ya que de esta forma puede implantarlos para corregir anomalías en el funcionamiento de sus unidades, tal es el caso de la unidad número 4 de la central termoeléctrica "Valle de México", situada a 70 Km de la ciudad de México, esta unidad cuenta con una capacidad de 300 MW, para lo cual esta equipada con una caldera del tipo de domo de fabricación inglesa bajo la patente Backcock and Willcox y un generador de fabricación italiana con salida de 12KV, 60Hz. La unidad ha estado en operación comercial por 13 años, pionera en su tipo esta unidad ha experimentado problemas de operación desde el principio de su puesta en operación.

Estos problemas se han presentado principalmente en el control lógico de la caldera, el cual incluye el control de quemadores y excluye el control de combustión del que sólo se

extraen algunas señales.

Dentro de la CFE, esta será la primera aplicación de un equipo de control programable, para corregir un problema en una de sus unidades.

Para empezar a entender las lógicas se describirá la caldera en general. Esta es del tipo de circulación natural y domo, cuenta con 15 quemadores, 9 situados en la pared frontal y 6 en la pared trasera, y están dispuestos en niveles de 3 quemadores cada uno, en la figura 3.1.1 podemos observar un diagrama representativo de la disposición de los quemadores en la caldera.

El control original fue construido utilizando relevadores electromagnéticos, los cuales fueron montados en tres gabinetes, localizados un nivel abajo del cuarto de control, además existe un control local para cada quemador, el cual cuenta con lámparas de señalización y botones para el control del mismo, sin embargo los controles prioritarios están situados en la consola del operador en el cuarto de control.

Las lógicas que maneja el control original han de ser las mismas que se seguirán para desarrollar los programas de aplicación del nuevo sistema, cambiando únicamente aquellas partes de las lógicas que ocasionen problemas.

Estas lógicas fueron agrupadas en 5 bloques que son los siguientes:

DCL-101 Purga y reestablecimiento de combustibles.

DCL-102 Arranque del quemador con gas y con aceite.

DCL-103 Paro y limpieza del quemador con gas y con

aceite.

DCL-104 Disparo de caldera.

DCL-105 Funciones especiales.

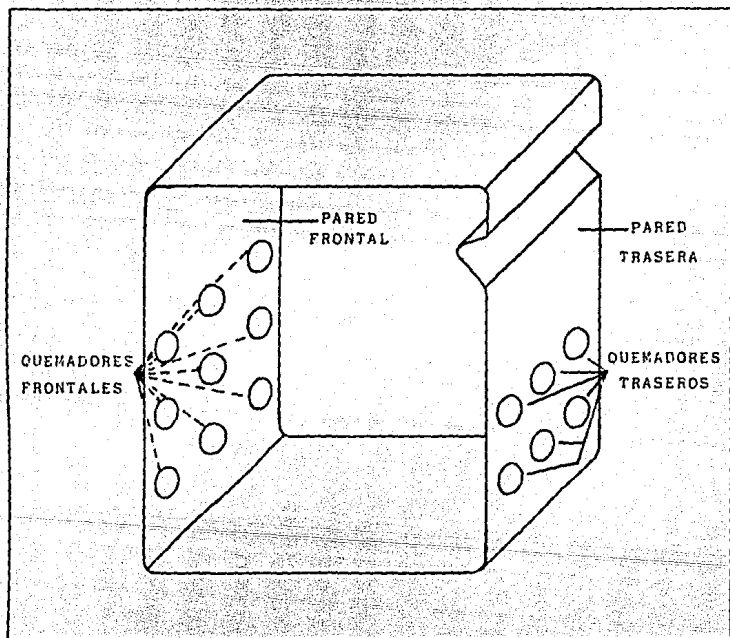


Fig. 3.1.1 Disposición de quemadores en la caldera.

3.2 DCL-101

3.2.1 PURGA

La purga es un proceso que debe ejecutarse necesariamente antes de encender la caldera y particularmente después de un paro requerido por un disparo, ya que en este momento el hogar está caliente, y es necesario que los ductos del hogar y el mismo hogar se encuentren limpios de gases para evitar que puedan llegar a condensarse y producir una explosión al encender nuevamente la caldera.

Es por esto que es necesario un proceso de purga que proporcione una condición de seguridad para la libre operación de la caldera. Se estima que se requiere al menos 3 cambios completos de aire para alcanzar una condición segura y que estos 3 cambios se logran en 5 minutos en lo que respecta a la unidad en cuestión. Es importante notar que antes de que transcurran los 5 minutos no es permitido introducir ningún combustible en el hogar de la caldera.

El hogar de la caldera es purgado con un flujo de aire entre 25 y 35% M.C.R., sería posible purgar mediante una razón de flujo mayor, pero se observa que con una razón mayor es más probable que se depositen puntos calientes de carbón en el ducto de salida de gases, que pueden producir una ignición sobre algún tubo o material provocando un sobrecalentamiento y por tanto un lugar propicio de falla. También existe el hecho de que un flujo alto causa tal turbulencia que la mezcla de gases se torna más peligrosa en términos de fuerza explosiva y mientras mayor sea el flujo de aire esta condición se alcanza

más rápidamente que en cualquier otro caso.

Los registros de aire de combustión son arreglados de tal forma que estos deberán mantener su posición de apertura continuamente, sobre cualquier condición excepto cuando un quemador esté fuera de servicio. Cuando al menos otro quemador esta trabajando , los registros de aire de los quemadores que no lo están se moverán a su posición de cerrado.

En condiciones de disparo cuando al menos un tiro forzado está trabajando, el equipo de control de combustion (Bailey), reduce el flujo de aire a 25% M.C.R., para que de esta manera se mantenga un flujo continuo.

De las razones anteriores podemos observar, que bajo ninguna circunstancia será posible operar la caldera si antes no se ha realizado un proceso de purga.

Un proceso de purga se lleva a cabo considerando los estados que se muestran en la figura 3.2.1.1.

Para que un proceso de purga se realice será necesario satisfacer una lista de 14 permisivios.

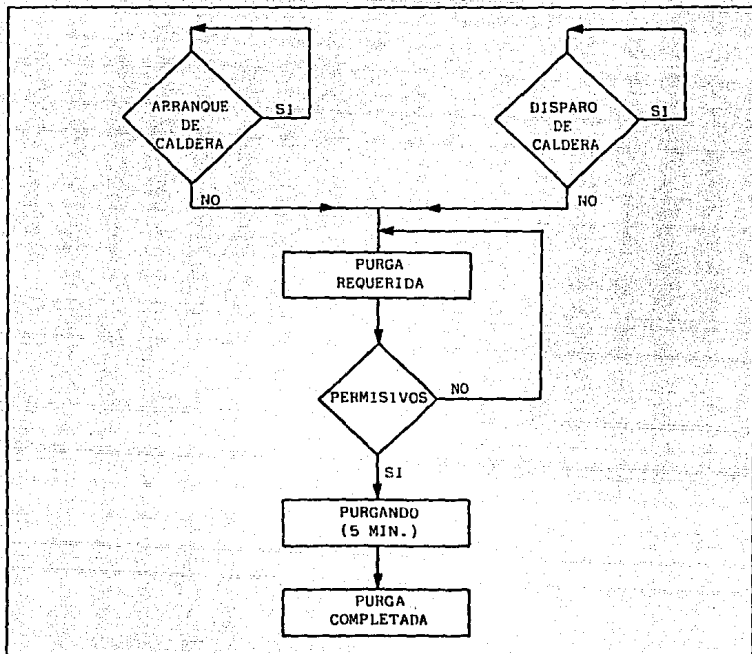


Fig.3.2.1.1 Proceso de purga.

3.2.2 REESTABLECIMIENTO DE COMBUSTIBLES (GAS)

Después de un paro de caldera o de un disparo, todas las válvulas de combustible que alimentan a los quemadores y pilotos son cerradas evitando con esta acción posibles accidentes, ahora bien, durante un reestablecimiento de combustibles, únicamente se reestablecen las válvulas principales dejando a otras lógicas la tarea de la alimentación

del combustible directamente a quemadores.

Para llevar a cabo el reestablecimiento de gas a pilotos debe cumplirse con un bloque de 4 permisos, esto se muestra en la figura 3.2.2.1.

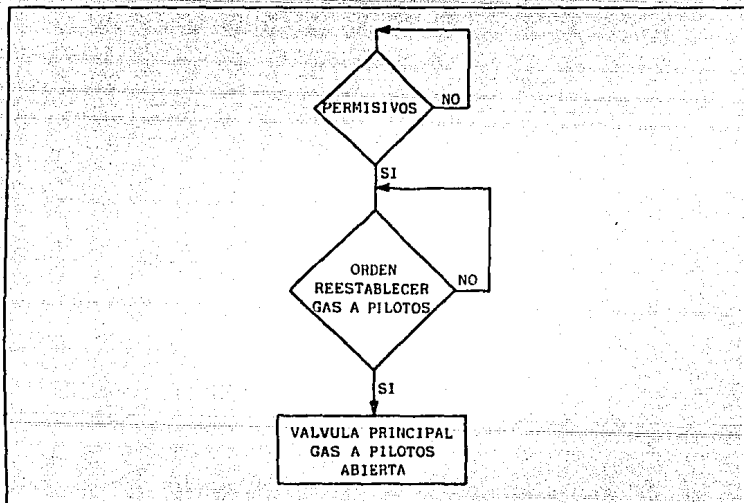


Fig. 3.2.2.1 Reestablecimiento gas a pilotos.

El reestablecimiento de gas a quemadores se realiza en dos operaciones, como se observa en la figura 3.2.2.2.

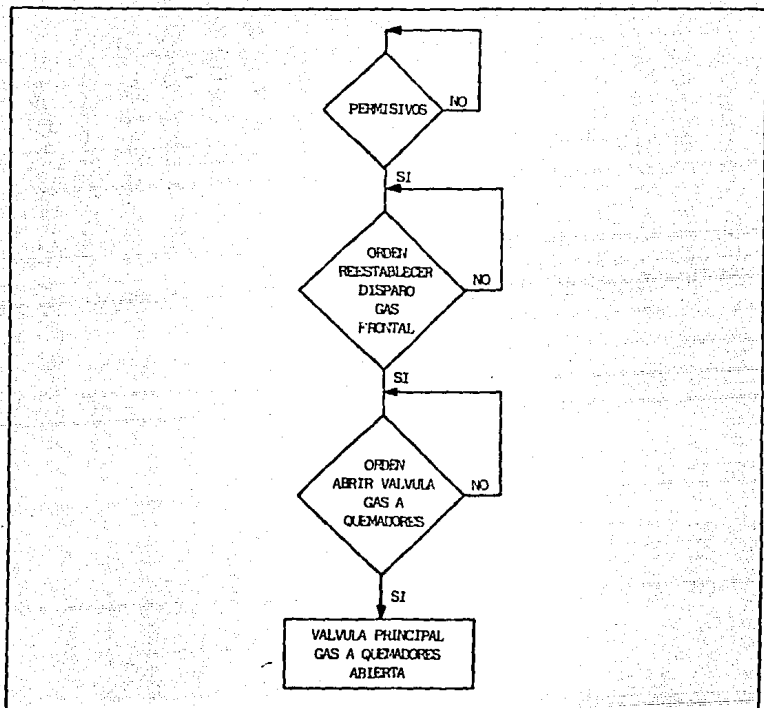


Fig. 3.2.2.2 Reestablecimiento de gas a quemadores.

3.2.3 REESTABLECIMIENTO DE COMBUSTIBLE (ACEITE)

Durante esta operación primero se debe reestablecer el disparo para lo cual se deben cumplir cuatro permisos, una vez ocurrido esto se ordena la apertura de la válvula principal de aceite, esto se observa en la figura 3.2.3.1.

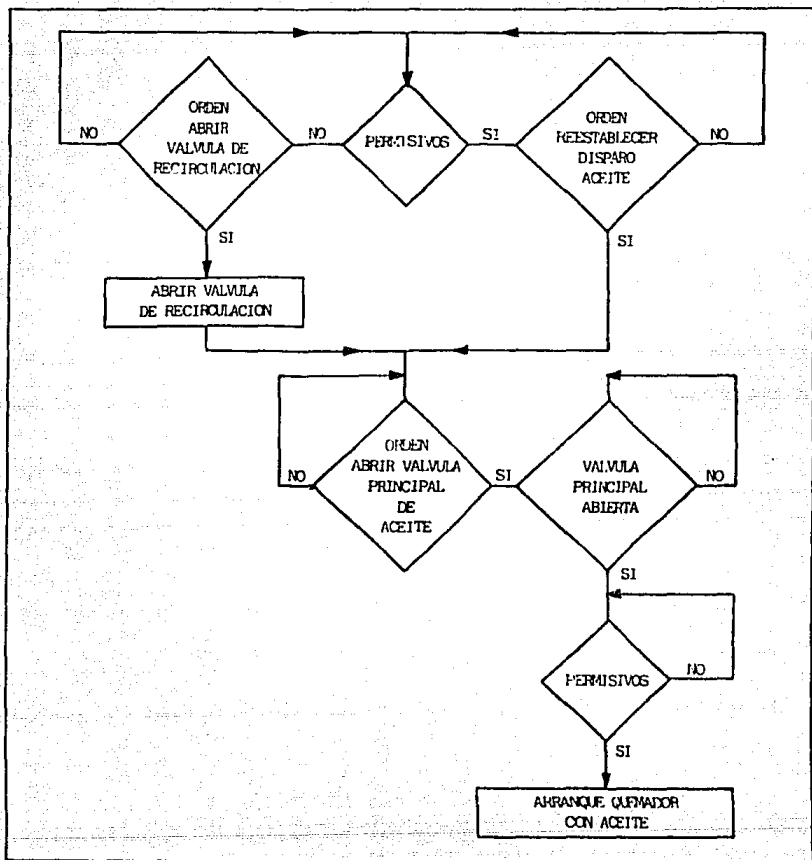


Fig. 3.2.3.1. Reestablecimiento de combustible (aceite)

3.3 DCL-102

El arranque de quemadores es uno de los objetivos del control de quemadores. Es muy importante considerar que la rapidez con que el quemador pueda ser puesto en operación repercute directamente en la estabilidad del sistema.

Otro factor muy importante en el arranque de un quemador es la seguridad de la unidad, ya que el arranque es el momento en que entran sustancias combustibles al hogar de la caldera y un mal manejo de un quemador puede provocar explosiones que dañarían desde el quemador hasta las paredes de la caldera.

La unidad en cuestión cuenta con quemadores diseñados para funcionar con dos combustibles diferentes, aceite y gas. Lo anterior conduce a que existan dos lógicas de arranque dependiendo del tipo de combustible que sea utilizado. El funcionamiento de los quemadores es idéntico para todos.

3.3.1 ARRANQUE MEDIANTE ACEITE

El arranque con aceite debe satisfacer un total de 7 permisos antes de poderse ejecutar, la figura 3.3.1.1 describe el proceso.

Si la flama del piloto falla se declara falla de piloto y se detiene la secuencia, si la falla es en el arranque del quemador existen 2 opciones, si es el único quemador operando se declara quemador falla a encendido y si existe algún otro quemador trabajando se declara quemador a limpieza por falla a encendido.

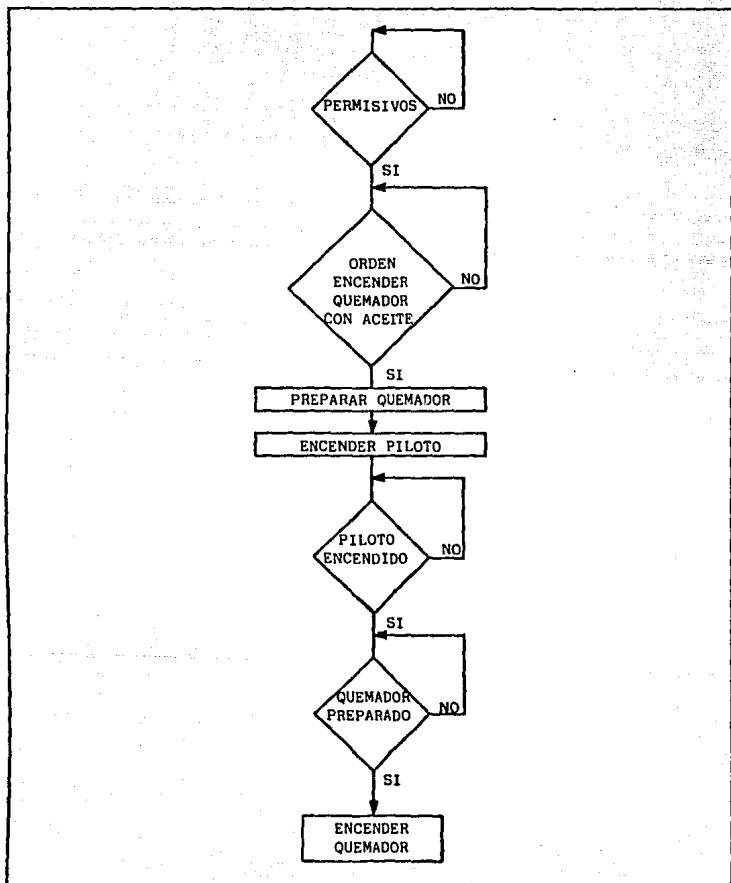


Fig.3.3.1.1 Arranque mediante aceite.

3.3.2 ARRANQUE MEDIANTE GAS

Esta lógica tiene como tarea principal el arranque del quemador, además dentro de esta misma, existe la función de prueba de piloto, la cual lo ayuda a mantenerse bien calibrado sin necesidad de llevar a cabo un arranque.

Al igual que en el caso anterior se requiere satisfacer un total de 6 permisivos para llevar a cabo el arranque.

En la figura 3.3.2.1 podemos observar la secuencia.

En caso de que el piloto no encienda se declara la falla del piloto y se corta la secuencia, en caso de que sea el quemador el que falle se declara quemador falla a encendido.

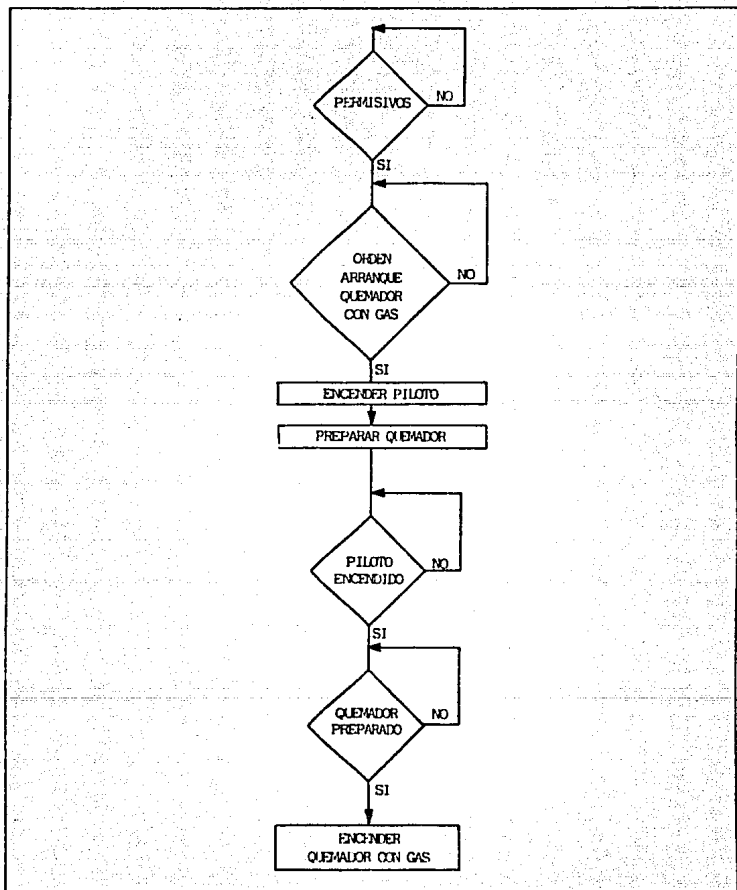


Fig. 3.3.2.1 Arranque mediante gas.

3.4 DCL-103

Al igual que en el proceso de arranque existen dos lógicas de funcionamiento para el paro de un quemador, la aplicación de una o de otra será dependiendo del tipo de combustible que se esté manejando.

De esta forma podemos decir que el paro con gas es relativamente simple, mientras que un paro con aceite tiene mayor complejidad.

3.4.1 PARO DEL QUEMADOR (GAS)

El paro del quemador cuando esta trabajando con gas es directo y existen tres causas o permisos para sacarlo de funcionamiento, la figura 3.4.1.1 muestra el proceso.

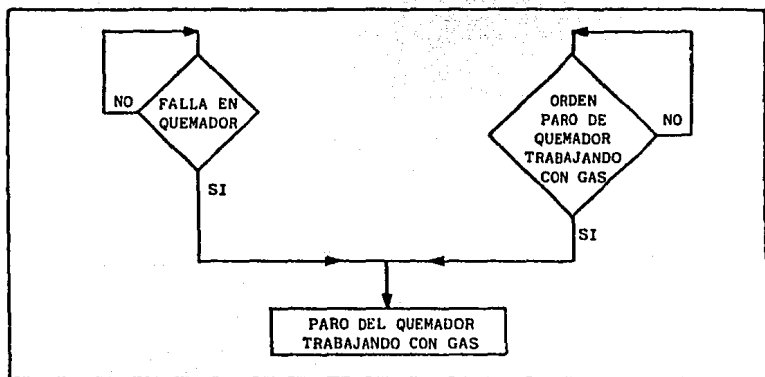


Fig. 3.4.1.1 Paro del quemador (gas).

3.4.2 PARO DEL QUEMADOR (ACEITE)

El paro de un quemador que está trabajando con aceite, requiere de una secuencia de limpieza del quemador que se ajusta al final, como se observa en al figura 3.4.2.1.

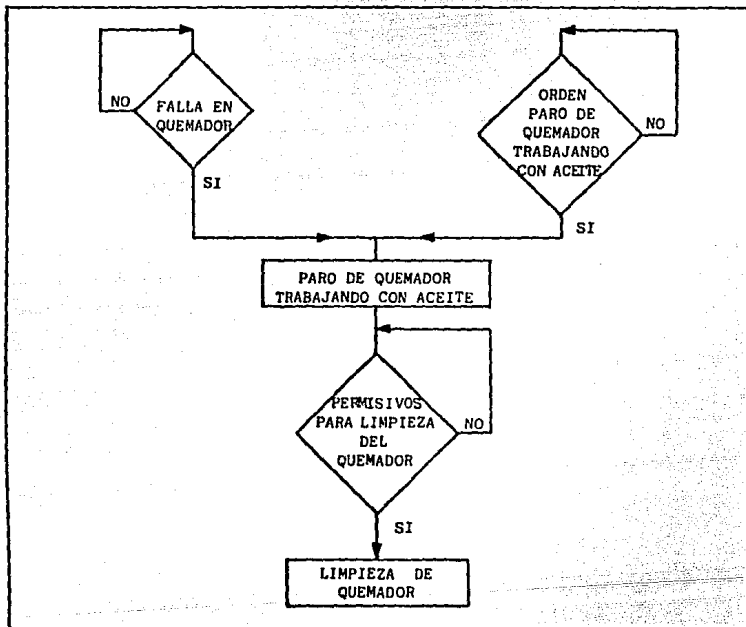


Fig. 3.4.2.1 Paro del quemador (aceite).

Como se puede observar en al figura 3.4.2.1 los permisos para llevar a cabo un proceso de limpieza son 4.

3.4.3 LIMPIEZA DEL QUEMADOR

La limpieza del quemador es muy importante, va que si no

se realiza correctamente puede provocar la obstrucción del quemador y por lo tanto fallas en el arranque.

La limpieza se realiza siempre que se quiere apagar un quemador que ha estado trabajando con aceite, existirán ocasiones en que el quemador que se quiere apagar sea el último que esta en operación, en este caso sera necesario encender nuevamente el piloto para llevar a cabo la limpieza. El procedimiento es el que se muestra en la figura 3.4.3.1.

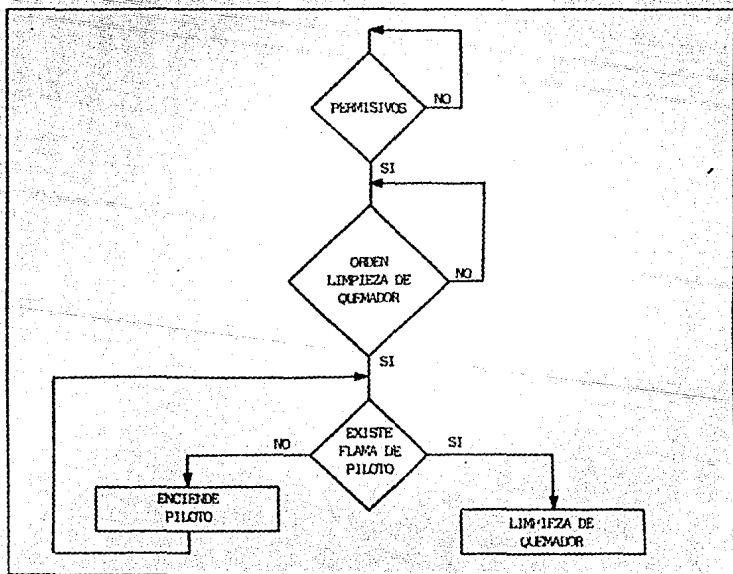


Fig. 3.4.3.1 Limpieza del quemador.

3.5 DCL-104

El disparo de caldera es una función que existe para preservar la seguridad del personal y del equipo, en general un disparo de caldera se presenta por condiciones extremas y en algunos casos por seguridad.

Los disparos de caldera son un grave problema para el sistema eléctrico nacional, ya que provocan problemas de estabilidad y en general deterioro acumulativo del equipo, sin embargo no es posible eliminarlos ya que son una alternativa extrema de seguridad.

Ante la presencia de un disparo se toman diferentes medidas de seguridad como se observa en la figura 3.5.1.

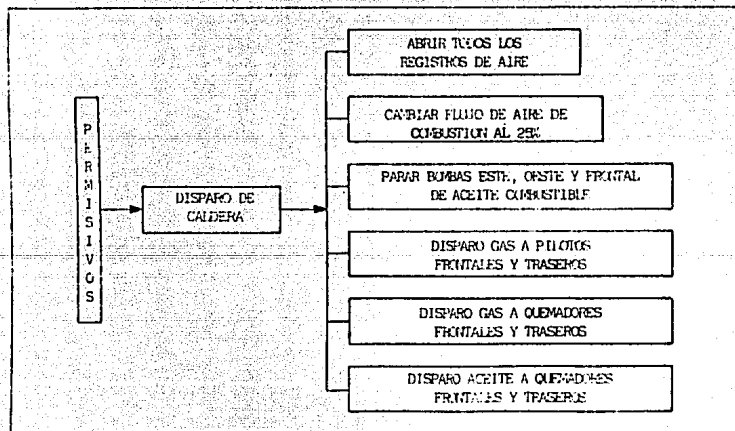


Fig. 3.5.1 Disparo de unidad.

Los factores principales dentro de la seguridad de la caldera son tres, entrada de aire, regulación del flujo de aire y el cese de entrada de combustible al hogar de la caldera.

3.6 DCL-105

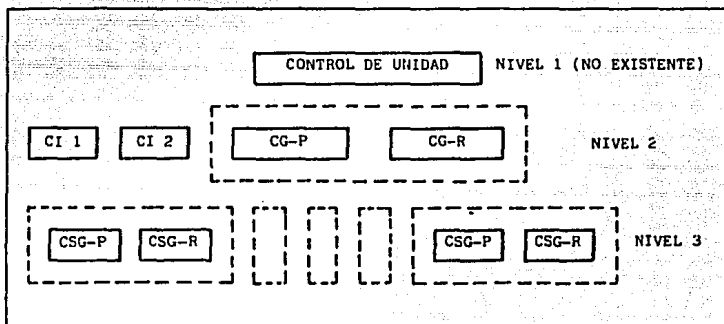
En el plano DCL-105 estan las funciones que involucran a todos los quemadores, estas funciones no fueron incluidas en los planos anteriores porque se tienen que estar repitiendo completas para cada plano y esto equivale a anexar un plano DCL-105 al plano DCL-101,102,103,104. por lo que se decidió formar el plano DCL-105 como un plano general que contenga todas aquellas funciones que involucran a todos los quemadores. A continuación se enlistan dichas funciones.

- 1.- Dos o más quemadores funcionando
- 2.- Abrir todos los registros de aire
- 3.- Cerrar todos los registros de aire
- 4.- Algún quemador operando
- 5.- No hay flama en el hogar
- 6.- Arranque del primer quemador sin flama en el hogar
- 7.- Cerrar válvula de recirculación de aceite frontal y trasera
- 8.- Cerrar válvula de venteo de gas a pilotos frontal y trasera
- 9.- Cerrar válvula de venteo de gas a quemadores frontal y trasera
- 10.- Registros de aire abiertos frontal y traseros

4 DESCRIPCION DEL SISTEMA

4.1 CONFIGURACION DEL SISTEMA

De acuerdo con las especificaciones CFE J-100 el sistema de control lógico programable "SYSTEMAX" cuenta con la siguiente estructura jerárquica figura 4.1.1 .



CG - P CONTROLADOR DE GRUPO PRINCIPAL
CG - R CONTROLADOR DE GRUPO RESPALDO
CSG - P CONTROLADOR DE SUBGRUPO PRINCIPAL
CSG - R CONTROLADOR DE SUBGRUPO RESPALDO
CI CONTROLADOR DE INFORMACION

FIG. 4.1.1 Diagrama jerárquico del SYSTEMAX.

4.2 FILOSOFIA DE FUNCIONAMIENTO

El sistema tiene por función el arranque, paro y protección, así como una operación local, remota y/o automática del sistema de quemadores de la caldera, y la adquisición de información de los estados del proceso que esta controlando.

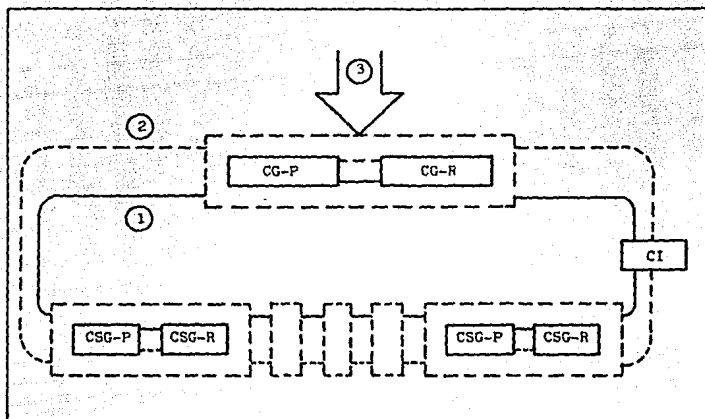
Para la realización de estas funciones el sistema cuenta con tres redes de comunicaciones independientes, estas son:

RED DE CONTROL: Para la comunicación entre controladores del SYSTEMAX.

RED DE INFORMACION: Para la comunicación entre los controladores del SYSTEMAX y su controlador de información.

RED DE CONSOLA: Para la comunicación entre consola del operador y el controlador de grupo.

En la figura 4.2.1 se muestra una esquematización de las redes del sistema.



- 1.- RED DE CONTROL
- 2.- RED DE INFORMACION
- 3.- RED DE CONSOLA

Fig. 4.2.1 Configuración del SISTEMAX.

4.3 MODOS DE OPERACION

El sistema cuenta con cuatro modos de operación que son :

MODO AUTOMATICO: Ejecuta los programas automáticamente con intervención mínima del operador.

MODO SEMIAUTOMATICO: La ejecución de los programas de los subgrupos es comandada desde la consola de operación esto es,

cuando se ordena el arranque de un quemador el controlador de subgrupo ejecuta uno de sus programas de arranque y la secuencia se desarrolla sin intervención del operador.

MODO MANUAL: En este modo el control se ejecuta directamente desde la consola de operación, esto significa que el operador tiene que ir armando la secuencia para que el quemador arranque.

MODO GUIA DEL OPERADOR: La ejecución de los programas es guiada por el sistema a través de la consola de operación.

4.4 FUNCIONES DEL CONTROL DE GRUPO

Las funciones del control de grupo son las siguientes:

- 1.- Coordinación de los controladores de subgrupo.
- 2.- Coordinación del controlador de información.
- 3.- Coordinación de canales de comunicación.
- 4.- Sincronización del sistema.
- 5.- Enlace con la consola del operador.
- 6.- Diagnóstico a nivel sistema.

En la figura 4.4.1 podemos observar un esquema representativo del control de grupo y sus interrelaciones con el sistema.

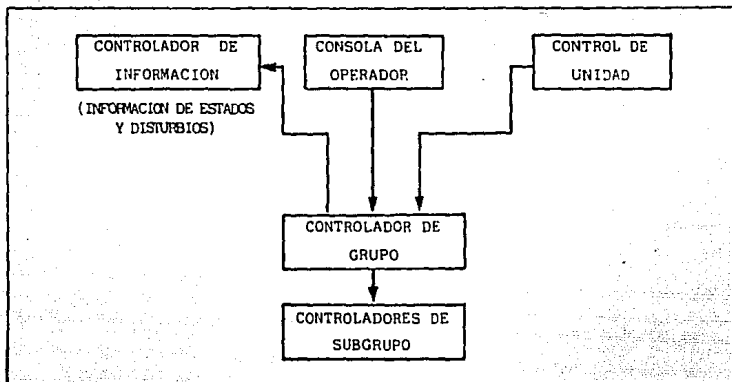


Fig. 4.4.1 Interrelaciones del control de grupo.

4.5 FUNCIONES DEL CONTROL DE SUBGRUPO

Los controladores de subgrupo realizan funciones de control lógico y protecciones en base a:

- 1.- Ordenes proporcionadas por el controlador de grupo.
- 2.- Información proporcionada por el proceso.

en la figura 4.5.1 observamos el control de subgrupo y sus interrelaciones.

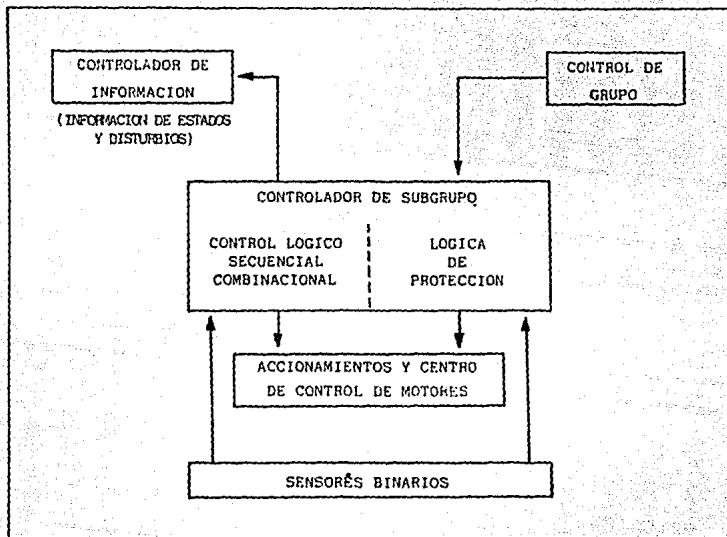


Fig. 4.5.1 Control de subgrupo.

4.6 FUNCION DEL CONTROLADOR DE INFORMACION

El controlador de información realiza las funciones de enlace entre los controladores del SISTEMAX y la consola del operador, para propósitos de señalización de:

- 1.- Estado de los actuadores de campo.
- 2.- Paso de secuencia en operación (ejecución).

3.- Modos de operación.

4.- Diagnóstico.

5.- Alarmas.

Las salidas del controlador de información pueden ser de los siguientes tipos:

1.- Un foco encendido/apagado.

2.- Un foco encendido/apagado y otro complementario.

3.- Función de transporte con tres focos.

4.- Un foco encendido/apagado/intermitente.

En la figura 4.6.1 observamos el controlador de información y sus interrelaciones.

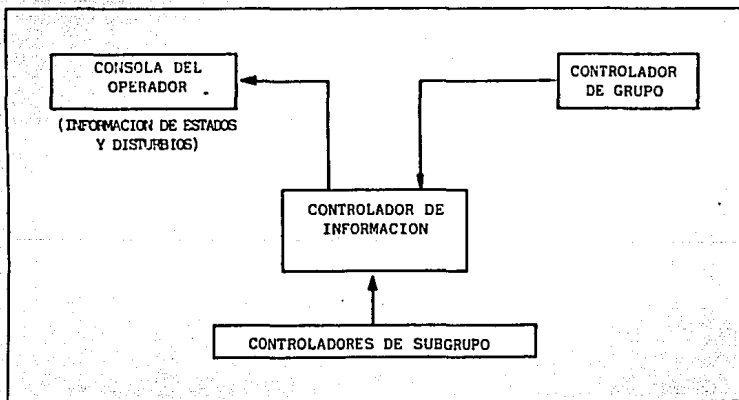


Fig. 4.6.1 Controlador de información.

En la figura 4.6.2 observamos el sistema completo.

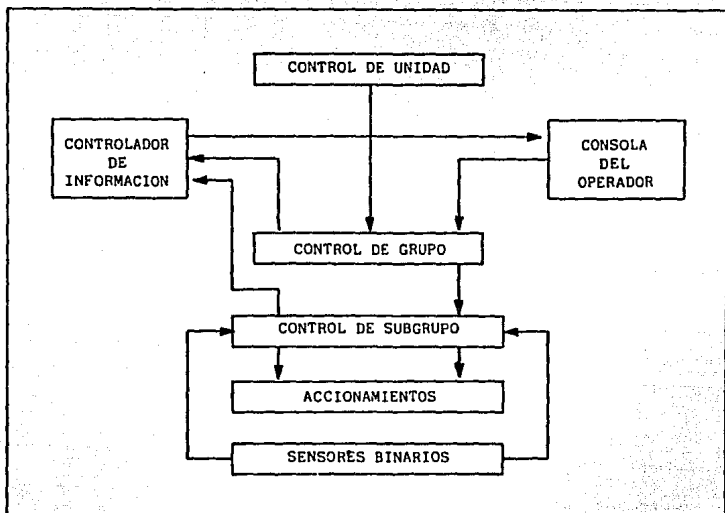


Fig.4.6.2 SISTEMAX y sus interrelaciones.

4.7 CONTROL LOGICO

En cada subgrupo se pueden controlar hasta tres procesos independientes en forma simultáneos. En cada proceso se pueden ejecutar hasta tres actividades independientes a la vez. Cada actividad se controla por medio de un programa de tipo secuencial, combinacional y/o de protecciones.

DEFINICIONES:

PASO: Es la unidad mínima de ejecución de un programa.

PROCESO: Conjunto de actividades para el desarrollo de una función completa. Cada actividad se relaciona con un programa de aplicación.

COMPUERTA: Es la construcción de una función lógica.

FUNCION LOGICA: Es un bloque lógico predeterminado.

OPERADORES DE RELACION: Son los elementos que permiten realizar funciones de comparación.

CONTADORES: Son elementos que permiten realizar operaciones algebraicas de conteo.

TEMPORIZADORES: Elemento funcional para el registro del tiempo.

ACCIONAMIENTO: Se define como una salida física.

Para la implementación de programas se permite el uso de alguna de las siguientes funciones por paso:

Compuerta AND (*), hasta cuatro entradas normales o complementadas.

Compuerta OR (+), hasta cuatro entradas normales o complementadas.

Compuerta NOT ('), opera con una sola entrada.

Función lógica $F1(A,B,C,D) = (A*B) + (C*D)$, entradas normales o complementadas, alguna de ellas puede ser un estado

fijo (0 6 1).

Función lógica $F2(A, B) = A \text{ XOR } B$, entradas normales o complementadas alguna de ellas puede ser un estado fijo (0 6 1).

Contador. Con las siguientes funciones:

Inicialización.

Reset.

Incrementar.

Decrementar.

Temporizador. Con las siguientes funciones:

Arrancar.

Parar.

Inicialización.

Reset.

Operadores de relación:

Entre un par de contadores.

Una constante contra un temporizador.

Una constante contra un contador.

Entre un par de temporizadores.

< Menor que > Mayor que

<= Menor o igual que => Mayor o igual que

<> Diferente de

Accionamientos. Se definen los siguientes:

- * Permanente
- * Complementada
- * Pulso positivo de duración variable
- * Pulso negativo de duración variable
- * Onda cuadrada
- * Onda cuadrada de frecuencia variable
- * Tren de pulsos de frecuencia y ciclo de trabajo variable

4.7.1 CONTROL LOGICO SECUENCIAL

Este tipo de programa se aplica en procesos donde se requiere una ejecución coordinada de eventos en el tiempo y en donde un estado puede depender o no de las condiciones actuales y de alguna anterior.

Para formar este tipo de programas se permite el uso de las siguientes funciones por paso:

Compuertas: AND, OR o NOT

Funciones: F1 (A,B,C,D) o F2 (A,B)

Comparadores

Temporizadores

Operadores de relación

Accionamientos

Las entradas a un paso pueden ser físicas o salidas de otros pasos.

Las salidas de un paso pueden ser físicas o entradas a otros pasos.

4.7.2 CONTROL LOGICO COMBINACIONAL

Se emplea en procesos donde se requiere un procesamiento simultáneo de uno o más eventos, o vigilancia permanente de los mismos. En este tipo de control un estado depende de las condiciones presentes.

Para los programas combinacionales se permite el uso de las siguientes funciones por paso:

Compuertas: AND, OR y NOT.

Funciones: $F_1(A,B,C,D)$ y $F_2(A,B)$.

Accionamientos.

Las entradas a un paso pueden ser físicas o salidas de otros pasos.

Las salidas de un paso pueden ser físicas o entradas a otros pasos.

El controlador puede ejecutar hasta 50 pasos combinacionales, que pueden ser distribuidos hasta en 50 programas diferentes.

En ocasiones se requiere, que como resultado de un programa combinacional se desarrolle una secuencia de eventos,

esto no puede ser realizado dentro del mismo programa, por lo cual se hace uso de un programa secuencial de servicio a combinacional.

4.7.3 CONTROL LOGICO DE PROTECCIONES

Los programas de protecciones se aplican en procesos donde se requiere vigilancia permanente de los mismos, y su ejecución depende únicamente del estado actual de las variables que lo definen.

Su ejecución es prioritaria con respecto a los programas secuenciales y combinacionales, además de ser el único que se mantiene operando en cualquiera de los 4 modos de operación.

Para la implementación de programas de protecciones se permite el uso de las siguientes funciones por paso:

Compuertas: AND, OR y NOT.

Funciones: $F1(A,B,C,D)$ y $F2(A,B)$.

Accionamientos.

Las entradas a un paso pueden ser físicas o salidas de otros pasos.

Las salidas de un paso pueden ser físicas o entradas a otros pasos.

Tanto entradas como salidas físicas de estos programas, pueden ser compartidas con los programas de control lógico secuencial o combinacional.

Un programa de protecciones puede ejecutar hasta 15 pasos.

Este esquema tiene el inconveniente de no tener salida a otros programas, por lo que para desactivarlo hay que apagar el equipo.

Con respecto a los programas de protecciones sucede lo mismo que en los combinacionales ya que dependiendo del resultado del programa se requiere del desarrollo de secuencias, las cuales se desarrollan mediante un programa secuencial de servicio a protecciones.

4.8 ESQUEMA DE PRIORIDADES

Dentro del sistema existe un esquema de prioridades que permite al usuario definir el orden en que operarán los programas dentro de cada proceso. De esta forma tenemos por ejemplo que los programas de prioridad 0-5 y 7 tienen comunicación con el control de grupo mientras que los programas de prioridad 6 tendrán comunicación con los controladores de información.

Dentro de un proceso el usuario puede asignar la prioridad que crea conveniente a sus programas teniendo en cuenta que un programa de mayor prioridad puede interrumpir la ejecución de uno de menor prioridad, no existiendo la alternativa contraria.

4.9 ESQUEMA DE RESPALDO

El esquema de respaldo es de uno a uno, esto es, por cada controlador trabajando existirá otro controlador listo para funcionar en cuanto se requiera.

En operación normal el controlador de respaldo no ejecuta ninguna acción, hasta que es llamado a operación desde un nivel jerárquico superior.

Cada controlador cuenta con un relevador manejado desde un nivel superior que le proporciona un aislamiento total del sistema.

4.9.1 RESPALDO A NIVEL DE GRUPO

La decisión de entrada del respaldo se toma en la consola del operador o desde el nivel de control de unidad.

4.9.2 RESPALDO A NIVEL DE SUBGRUPO

La decisión de entrada del respaldo se toma normalmente en el controlador de grupo. Bajo condiciones especiales, como sería en el caso de mantenimiento mayor o de fallas mayores, la entrada del respaldo también puede ser ordenada por el operador.

4.10 REDES DE COMUNICACION

Las características generales de las redes de comunicación son:

- 1.- Se emplea un esquema de control del tipo maestro esclavo.
- 2.- Se cuenta con un módulo inteligente de comunicaciones para cada una de las redes, por controlador.
- 3.- La topología es del tipo anillo.
- 4.- La velocidad de transmisión es de 19.2 Kb.

5.- El formato de comunicación es asíncrono con mensaje multibyte.

4.10.1 FORMATO DEL MENSAJE

La estructura del mensaje está constituida por seis campos que son:

(SOH, CON, DIR, CONTROL, DATOS, CRC)

Donde la función de cada campo es la siguiente:

Inicio de mensaje (SOH) se utiliza para sincronizar receptor con transmisor.

Contador del número de datos (CON) contiene la información del número de bytes que forman el campo de datos.

Dirección del controlador (DIR) contiene la dirección relativa del controlador en el sistema.

Control (CONTROL) código referente a la instrucción que deberá ejecutar el receptor o el significado de la información contenida en el campo de datos.

Código de seguridad (CRC) permite al receptor verificar la integridad del mensaje recibido.

5 PROGRAMACION DEL SISTEMA

5.1 GENERALIDADES

La programación dentro del sistema como en todo sistema microprocesador esta dividida en dos tipos, el primero se refiere a la programación operativa que esta constituida por sistema operativo y el sistema de comunicaciones entre controladores, el cual queda fuera del alcance de este trabajo y el segundo a la programación constituida por los programas de aplicación.

5.2 PROGRAMAS DE APLICACION

Los programas de aplicación se encargan de coordinar la correcta operación del proceso en planta. La organización que se utiliza es la de maestro-esclavo como se muestra en la figura 5.2.1.

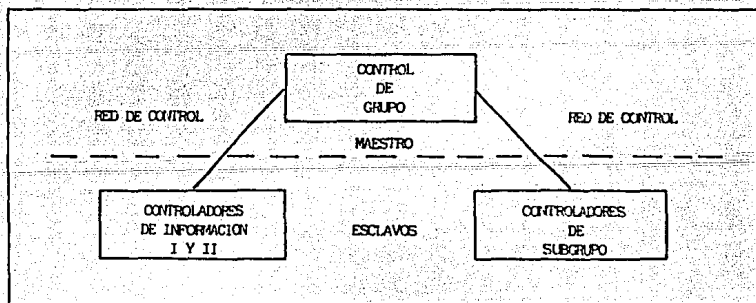


Fig 5.2.1 Organización del SISTEMAX.

Debido a esta organización se cuenta con dos niveles de control, grupo y subgrupo, en el control de grupo tenemos un controlador con respaldo y en el de subgrupo a ocho controladores que son: unidad y combustibles, cinco de quemadores y dos de información, de los cuales los únicos que no cuentan con respaldo son los controladores de información.

Los programas en el sistema vigilan los botones para los comandos que maneja el operador, se evalúan las condiciones de campo que determinan el estado que guarda el proceso y dependiendo de estas condiciones se realiza o no la acción solicitada por el operador, además de vigilar las condiciones de seguridad efectuando la acción preventiva correspondiente. En la figura 5.2.2 se muestra un diagrama de flujo de datos.

Se utilizan dos tipos de programas, secuenciales y combinacionales, los primeros se emplean para los procesos que requieren de secuencia o son generales y los segundos para condiciones de emergencia o protección.

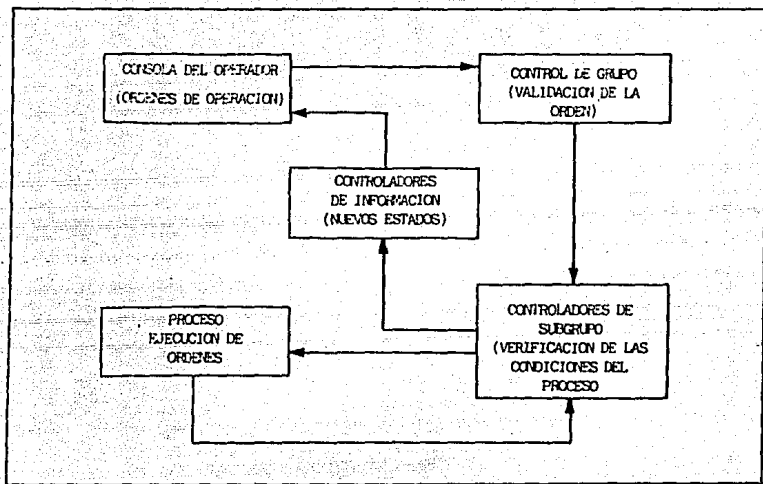


Fig. 5.2.2. Diagrama de flujo de datos.

5.3 PROGRAMACION EN EL CONTROL DE GRUPO

Los programas en el control de grupo tienen las siguientes funciones:

- Vigilar los botones para comandos que maneja el operador.
- Recibir y enviar información de campo obtenida por los subcontroladores al control de grupo.
- Evaluar las funciones lógicas del proceso.
- Vigilar las condiciones de seguridad del proceso.

- Efectuar acciones preventivas ante situaciones de peligro.

Los programas contenidos en el control de grupo son los siguientes:

PROCESO 1

NUM	NOMBRE	PRIORIDAD	TIPO	BANCO
1	AUTO1.EDT	255	secuencial	1
2	PURGA.EDT	4	secuencial	1
3	CTLGPO.EDT	4	secuencial	2
4	INICIO.EDT	4	secuencial	1
5	BOTON.EDT	3	combinacional	1
6	DISPAR.EDT	3	secuencial (serv. combinacional)	1
7	CERO.EDT	0	secuencial	1
8	DISPAT.EDT	1	secuencial	1

La figura 5.3.1 muestra la secuencia en la que son activados los programas.

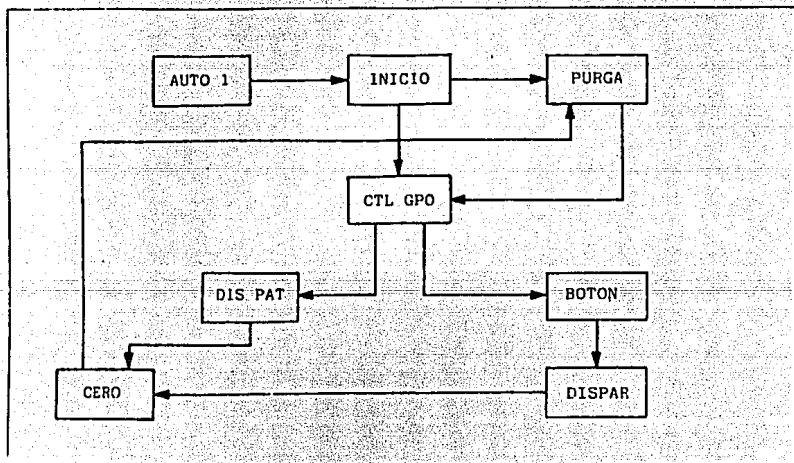


Fig. 5.3.1 Secuencia y encadenamiento de programas

La función de cada programa es la siguiente:

AUTO1.EDT. Este programa se encarga de inicializar el sistema , enlaza con INICIO.EDT.

INICIO.EDT. Este programa realiza las siguientes funciones:

- Inicializa programas de comunicaciones en todos los controladores.
- Descubre donde se encuentra el proceso.
- Permite recuperarse al sistema de una falla total en caso de que esta exista.
- Activa al grupo de programas correspondientes que son los que logran la recuperación total.
- Inicializa programas en todos los controladores (Información 1 y 2, unidad y combustibles y quemadores).

PURGA.EDT. Este programa realiza la purga general del sistema, además de controlar los registros de aire y válvulas de recirculación. Se comunica con los controladores de unidad y combustibles y quemadores.

CTLGPO.EDT. Este programa realiza todas las funciones normales de operación del sistema. Se operan todas las valvulas principales de corte, los quince quemadores. Se comunica con los controladores de unidad y combustibles y quemadores.

DISPAR.EDT. Este programa realiza el disparo de caldera como consecuencia de oprimir el boton de disparo manual de

caldera.

DISPAT.EDT. Este programa realiza el disparo de unidad como consecuencia de existir alguna condición de emergencia que se haya detectado en el subcontrolador de unidad y combustibles.

CERO.EDT. Este programa realiza el encadenamiento de programas con PURGA.EDT.

5.4 PROGRAMACION EN EL CONTROL DE UNIDAD Y COMBUSTIBLES

Los programas de usuario en el control de unidad y combustibles se encargan de:

- Manejar las valvulas principales de combustible.
- Vigilar las condiciones de emergencia en la planta.

Los programas que realizan el control son los siguientes:

PROCESO 1

NUM	NOMBRE	PRIORIDAD	TIPO
1	PURGA.EDT	4	secuencial
2	DESPCH.EDT	4	secuencial
3	PROTS.EDT	3	proteccion
4	DISP1.EDT	3	secuencial (serv. prots)
5	DISP2.EDT	1	secuencial (comb)
6	VIGILA.EDT	7	secuencial
7	CERO.EDT	0	secuencial
8	FOCOS.EDT	6	secuencial
9	REVIVE.EDT	4	secuencial

La figura 5.3.1 muestra la secuencia en la que son activados los programas.

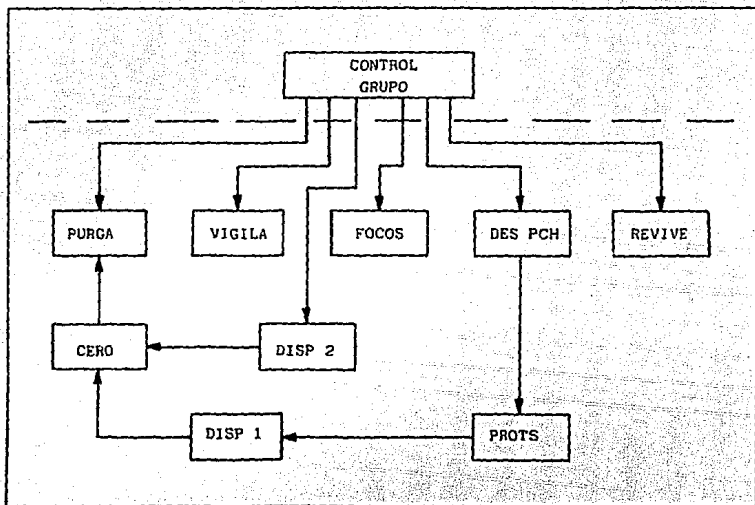


Fig. 5.3.1. Secuencia y encadenamiento de programas.

La función de cada programa es la siguiente:

PURGA.EDT. Este programa realiza la purga en unidad y combustibles y la operación de valvulas de recirculación. Es activado y desactivado de manera remota por el controlador de grupo o por otro programa de mayor prioridad.

DESPCH.EDT. Este programa realiza todas las funciones normales de operación de unidad y combustibles. Es activado y desactivado desde el control de grupo, se comunica con el controlador de grupo únicamente.

PROTS.EDT. Este programa vigila las condiciones de peligro o disparo del sistema y en caso de detectar alguna, llama al programa DISPI.EDT.

DISPI.EDT. Este programa realiza los disparos correspondientes a Unidad y Combustibles, solo es activado por el programa PROTS.EDT.

DISP2.EDT. Este programa realiza el disparo completo de unidad como consecuencia de haber oprimido el botón de DISPARO MANUAL, es activado por el programa DISPAR.EDT en el control de grupo.

FOCOS.EDT. Este programa es manejado por los controles de información 1 y 2 y le envia el estado en que deben de encontrarse los focos de unidad y combustibles. Es activado y desactivado desde el control de grupo y unicamente se comunica con los controles de información 1 y 2.

CERO.EDT. Este programa realiza el encadenamiento de programas con PURGA.EDT.

VIGILA.EDT. Este programa se encarga de enviar información de estado de valvulas y presión de combustibles al programa inicio.edt del controlador de grupo, para que este decida en que punto se encuentra el proceso. Es activado remotamente desde grupo y al finalizar la comunicación se muere.

REVIVE.EDT. Se encarga de verificar condiciones de campo

y como resultado de esta operación encadenar con los programas
DESPCH.EDT o PURGA.EDT.

5.5 PROGRAMACION EN EL CONTROL DE INFORMACION I

Los programas de usuario en el control de información I se encargan de actualizar los focos en el tablero, que proceden de los controladores de grupo, unidad y combustibles y quemadores.

Los programas que realizan el control son los siguientes:

PROCESO 1

NUM	NOMBRE	PRIORIDAD	TIPO
1	FINFI.EDT	6	secuencial
2	PRUEBI.EDT	6	secuencial
16	NOREST.EDT	6	secuencial

PROCESO 2

NUM	NOMBRE	PRIORIDAD	TIPO
3	PURREQ.EDT	6	secuencial
4	INIPUR.EDT	6	secuencial
5	PURGDO.EDT	6	secuencial
6	FINPUR.EDT	6	secuencial
7	RSCAFI.EDT	6	secuencial
8	DSGAFI.EDT	6	secuencial
9	RSGATI.EDT	6	secuencial
10	DSGATI.EDT	6	secuencial
11	RSCOFI.EDT	6	secuencial
12	DSCOFI.EDT	6	secuencial
13	RSCOTI.EDT	6	secuencial
14	DSCOTI.EDT	6	secuencial
15	DISPIL.EDT	6	secuencial

DESCRIPCION.

FINFI.EDT. Este programa actualiza el estado de los focos por medio de la información de campo que le proporcionan los controladores de unidad y combustibles y quemadores.

PRUEBI.EDT. Este programa realiza la prueba funcional de los focos que se encuentran en el controlador de información 1. Es activado por el controlador de grupo.

PURREQ.EDT, INIPUR.EDT, PURGDO.EDT Y FINPUR.EDT. Estos programas realizan la función de indicar el punto donde se encuentra el proceso de purga y son activados directamente por el controlador de grupo.

RSGAFI.EDT, DSGAFI.EDT, RSGATI.EDT Y DSGATI.EDT. Estos programas de actualización de focos indican el estado del Sistema de Gas Frontal y Trasero no Restablecido, son activados por el controlador de grupo.

RSCOFI.EDT, DSCOFI.EDT, RSCOTI.EDT Y DSCOTI.EDT. Estos programas actualizan los focos indican el estado del Sistema de Combustoleo Frontal y Trasero no Restablecido, son activados por el controlador de grupo.

DISPII.EDT, NOREST.EDT. Estos programas actualizan el estado de los focos de disparo de combustoleo y gas frontal y trasero.

Para explicar la secuencia de activación de los programas del Controlador de Información 1 no se incluye un diagrama que

lo ilustre, ya que todos se activan por el Controlador de Grupo.

5.6 PROGRAMACION EN EL CONTROL DE INFORMACION 2

Los programas de usuario en el control de información 2 se encargan de actualizar los focos en el tablero, que proceden de unidad y combustibles y quemadores.

Los programas que realizan el control son los siguientes:

PROCESO 1

NUM	NOMBRE	PRIORIDAD	TIPO
1	FINF2.EDT	6	secuencial
2	PRUEB2.EDT	6	secuencial

PROCESO 2

NUM	NOMBRE	PRIORIDAD	TIPO
3	RSGAF2.EDT	6	secuencial
4	DSGAF2.EDT	6	secuencial
5	RSGAT2.EDT	6	secuencial
6	DSGAT2.EDT	6	secuencial
7	RSCOF2.EDT	6	secuencial
8	DSCOF2.EDT	6	secuencial
9	RSCOT2.EDT	6	secuencial
10	DSCOT2.EDT	6	secuencial
11	ENTER1.EDT	6	secuencial
12	ENTER2.EDT	6	secuencial
13	DISIN2.EDT	6	secuencial
14	DISCA.EDT	6	secuencial

DESCRIPCION.

FINF2.EDT. Este programa actualiza el estado de los

focos por medio de la información de campo que le proporcionan los controladores de unidad y combustibles y quemadores.

PRUEB2.EDT. Este programa realiza la prueba funcional de los focos que se encuentran en el controlador de información 2. Es activado por el controlador de grupo.

RSGAF2.EDT,DSGAF2.EDT,RSGAT2.EDT Y DSGAT2.EDT. Estos programas de actualización de focos indican el estado del Sistema de Gas Frontal y Trasero Restablecido, son activados por el controlador de grupo.

RSCOF2.EDT,DSCOF2.EDT,RSCOT2.EDT Y DSCOT2.EDT. Estos programas de actualización de focos indican el estado del Sistema de Combustoleo Frontal y Trasero Restablecido, son activados por el controlador de grupo.

ENTER1.EDT Y ENTER2.EDT. Estos programas actualizan los focos de tiempo de encendido terminado, son activados por el controlador de grupo.

DISCA.EDT. Este programa actualiza el foco de disparo manual operado.

DISIN2.EDT. Este programa actualiza el estado de los focos de Restablecimiento de Combustoleo y Gas Frontal y Trasero.

Para explicar la secuencia de activación de los programas del Controlador de Información 2 no se incluye un diagrama que

lo ilustre, ya que todos se activan por el Controlador de Grupo.

5.7 PROGRAMACION EN EL CONTROL DE QUEMADORES

Los programas en el controlador de quemadores estan divididos en dos grupos, en el primer grupo estan los programas cuya función es adquirir datos, sus funciones se dividen en:

- Intercambio de mensajes con el controlador de grupo.
- Intercambio de mensajes con el controlador de información 1 6 2.

El otro grupo de programas es aquel que se encarga del manejo directo del quemador, para esto las tareas dentro del controlador estan divididas en tres procesos donde cada proceso se encarga de controlar un quemador. Las tareas de este segundo grupo son:

- Arranque del quemador con gas.
- Arranque del quemador con aceite siendo el primero.
- Arranque del quemador con aceite, otros trabajando.
- Paro del quemador operando con gas.
- Paro del quemador operando con aceite y siendo el ultimo.
- Paro del quemador operando con aceite no siendo el ultimo.
- Limpieza del quemador sin que otro este operando.
- Limpieza del quemador con otros operando.
- Vigilancia de condición segura de válvulas.
- Transferencia al programa de condición segura.

- Recuperación en cambio de principal a respaldo durante las rutinas de arranque con aceite, gas o limpieza declaradas.
- Vigilancia de flama y rutina de seguridad a falla de flama para arranque declarado con gas.
- Vigilancia de flama y rutina de seguridad a falla de flama para arranque declarado con aceite.
- Limpieza del quemador declarada y cierre seguro de válvulas

Los programas contenidos en el control de quemadores son los siguientes:

PROCESO 1

NUM	NOMBRE	PRIORIDAD	TIPO
1	ARGA1F.EDT	5	secuencial
2	AR1C1F.EDT	5	secuencial
3	AR2C1F.EDT	5	secuencial
4	PAGA1F.EDT	4	secuencial
5	PA1C1F.EDT	4	secuencial
6	PA2C1F.EDT	4	secuencial
7	1LIM1F.EDT	5	secuencial
8	2LUM1F.EDT	5	secuencial
9	SAFE1F.EDT	5	secuencial
10	TRNSF1.EDT	0	secuencial
11	MENGP1.EDT	7	secuencial
12	BUSC1F.EDT	5	secuencial
13	AR3C1F.EDT	5	secuencial
14	AR2G1F.EDT	5	secuencial
15	LIMS1F.EDT	5	secuencial

PROCESO 2

NUM	NOMBRE	PRIORIDAD	TIPO
16	ARGA2F.EDT	5	secuencial
17	AR1C2F.EDT	5	secuencial
18	AR2C2F.EDT	5	secuencial
19	PAGA2F.EDT	4	secuencial
20	PA1C2F.EDT	4	secuencial
21	PA2C2F.EDT	4	secuencial
22	1LIM2F.EDT	5	secuencial
23	2LIM2F.EDT	5	secuencial
24	SAFE2F.EDT	5	secuencial
25	TRNSF2.EDT	0	secuencial
26	MEINF1.EDT	6	secuencial
27	BUSC2F.EDT	5	secuencial
28	AR3C2F.EDT	5	secuencial
29	AR2G2F.EDT	5	secuencial
30	LIMS2F.EDT	5	secuencial

PROCESO 3

NUM	NOMBRE	PRIORIDAD	TIPO
31	ARGA3F.EDT	5	secuencial
32	AR1C3F.EDT	5	secuencial
33	AR2C3F.EDT	5	secuencial
34	PAGA3F.EDT	4	secuencial
35	PA1C3F.EDT	4	secuencial
36	PA2C3F.EDT	4	secuencial
37	1LIM3F.EDT	5	secuencial
38	2LIM3F.EDT	5	secuencial
39	SAFE3F.EDT	5	secuencial
40	TRNSF3.EDT	0	secuencial
41	TESLA1.EDT	6	secuencial
42	BUSC3F.EDT	5	secuencial
43	AR3C3F.EDT	5	secuencial
44	AR2G3F.EDT	5	secuencial
45	LIMS3F.EDT	5	secuencial
46	MEGP12.EDT	7	secuencial

La función de cada programa es la siguiente:

MEGP12.EDT. Este programa se encarga de la adquisición de datos de las entradas de campo de los tres quemadores y su envío al control de grupo cuando este lo requiera, evaluación

de los permisos para purga en el quemador y del envío de su estado al control de grupo,

MENGPX.EDT. Este programa controla la posición de los registros de aire de los tres quemadores dependiendo del proceso, este programa se activa por una orden del control de grupo.

MENINF.EDT. Realiza la adquisición de datos de las entradas de campo de los tres quemadores y su envío a los controladores de información 1 6 2 a petición de estos últimos.

SAFEXX.EDT. Donde XX es la posición del quemador desde 1F hasta 6R. Este programa supervisa y controla el cierre seguro de las válvulas del quemador.

ARGASXX.EDT. Este programa se encarga de realizar la rutina secuencial de arranque con gas del quemador.

AR1CXX.EDT. Este programa ejecuta la rutina secuencial de arranque con aceite del quemador, cuando este es el primer quemador que va a arrancar en la caldera.

AR2CXX.EDT. Este programa se encarga de realizar la rutina secuencial de arranque con aceite del quemador, cuando en la caldera ya existe algún otro quemador operando.

PAGAXX.EDT. Este programa se encarga de realizar la rutina secuencial de paro del quemador cuando este está operando con gas.

PA1CXX.EDT. Este programa se encarga de realizar la rutina secuencial de paro del quemador, cuando este esta operando con aceite y además es el último quemador que se encuentra en operación.

PA2CXX.EDT. Este programa se encarga de realizar la rutina secuencial de paro del quemador, cuando el quemador esta operando con aceite, pero no es el último en operación.

1LIMXX.EDT. Este programa se encarga de realizar la rutina secuencial de limpieza del quemador cuando en la caldera no existe algun otro quemador operando.

2LIMXX.EDT. Este programa se encarga de realizar la rutina secuencial de limpieza del quemador cuando en la caldera existe algun otro quemador en operación.

TRASF.EDT. Este programa se encarga de realizar la transferencia desde cualquier programa que haya terminado su secuencia al programa de condición segura de válvulas SAFEXX.

BUSCXX.EDT. Este programa se encarga de ejecutar una rutina que determina cual era el proceso que se estaba ejecutando en el controlador cuando se ordeno el cambio del controlador principal al controlador de respaldo, dependiendo del resultado de la rutina enlaza con los programas AR2GXX.EDT, AR3CXX.EDT o LIMSXX.EDT.

AR2GXX.EDT. Este programa se encarga de mantener el proceso cuando existe un cambio del controlador principal al de

respaldo y el quemador estaba en un proceso de arranque mediante gas. Si el quemador está funcionando en una condición seguro lo mantiene si existe pérdida de flama se asegura de llevarlo a una condición segura y se encadena con el programa SAFEXX.EDT.

AR3CXX.EDT. Este programa se encarga de mantener el proceso cuando existe un cambio del controlador principal al de respaldo y el quemador estaba en un proceso de arranque mediante aceite. Si el quemador está funcionando en una condición segura lo mantiene, si existe pérdida de flama se cerciora de llevarlo a una condición segura y se encadena con el programa SAFEXX.EDT.

LIMSXX.EDT. Este programa se encarga de mantener el proceso cuando existe un cambio del controlador principal al de respaldo y el quemador estaba en un proceso de limpieza.

5.8 PUESTA EN SERVICIO

Para la puesta en servicio del sistema de control lógico distribuido SISTEMAX se realizaron las siguientes pruebas:

- Pruebas del HARDWARE del sistema
- Pruebas del SOFTWARE operativo
- Pruebas del SOFTWARE de aplicación

En relación a las primeras pruebas que se realizaron fueron: verificación del trasplano de cada canasta, los canales

de comunicaciones, el tablero de transferencia principal-respaldo y las fuentes de poder.

Las pruebas de software operativo comprendieron el sistema multitareas, la sincronización de programas en diferentes controladores, la operatividad de las instrucciones del lenguaje y las redes de comunicación de control e información.

Las pruebas del software de aplicación en planta se realizaron verificando el correcto funcionamiento de la lógica de operación normal, la de situaciones catastróficas y la lógica de tolerancia a fallas, estas pruebas fueron supervisadas por CFE y mediante ellas se aceptó el sistema.

La instalación y puesta en marcha del sistema corrió a cargo del IIE entrando en operación comercial el 12 de julio de 1987.

CONCLUSIONES

Las fallas ocurridas del 1 de junio al 31 de agosto fueron las siguientes:

NOMBRE DE LA FALLA	NUMERO DE OCURENCIAS
HARDWARE sistema	5
SOFTWARE comunicaciones	7
Programas aplicación	3

Las fallas de hardware fueron en su totalidad en las tarjetas de comunicaciones. En todos los casos el respaldo entró inmediatamente y la corrección consistió en el cambio de la tarjeta afectada.

Las fallas de la programación de comunicaciones ocurrieron en los programas que sincronizan programas.

Las fallas en programas de aplicación fueron consecuencia de consideraciones de última hora, concretamente en monitoreos, en fallas de encendido y detección de flamas en quemadores.

En la actualidad el sistema ha sido completamente aceptado por personal de la planta obteniéndose las siguientes ventajas que incrementan la seguridad y respuesta del sistema:

- Las funciones del control lógico están distribuidas teniendo autonomía total en caso de falla completa del resto del sistema.
- El sistema contempla una recuperación de falla a nivel de hardware y software en el peor de los casos de alrededor de 5 segundos.

- La respuesta en tiempo a funciones críticas que requieren rapidez es satisfactoria.
- Se cuenta con respaldo completo de las funciones de cada quemador y elemento de campo.

En cuanto a mantenimiento las fallas fatales en hardware son de rápido diagnóstico y reparación, la documentación para mantenimiento de software está disponible para CFE.

A futuro el sistema cuenta con capacidad de expansión, además de poder comunicarse con cualquier sistema de control mediante comunicación serie (RS 232) sin importar la complejidad del sistema.

APENDICE A

ANTECEDENTES

Por qué el control se ha convertido en algo tan importante para el hombre?

La respuesta a este cuestionamiento tiene su origen con la llegada de la revolución industrial, acontecimiento que marcó un cambio radical en la forma de producción. Los productos empezaron a ser manufacturados mediante máquinas, y fue entonces cuando un nuevo criterio, cantidad calidad, llegó a dar un importante impulso al desarrollo del control e instrumentación. Era importante lograr el máximo beneficio mediante la misma maquinaria, esto significaba, incrementar los índices de producción. Fue en este momento cuando se inició una carrera por obtener los mejores sistemas de control y de esta manera lograr una productividad más elevada.

En un principio los instrumentos de control fueron montados en el lugar mismo donde los procesos de producción se estaban realizando, de esta forma el operador observaba las condiciones de los procesos mediante lecturas de los instrumentos o mediante observación directa, y una vez con conocimiento de lo que ocurría en ese momento, ajustaba válvulas o mecanismos con el objetivo de variar los parámetros del proceso y obtener los resultados deseados sobre la manufactura de los productos. Este tipo de control fue denominado control manual.

El control manual requería que los trabajadores así como los instrumentos de control estuvieran distribuidos por toda el área de trabajo. Fue entonces que los mecanismos de indicación hicieron su aparición, todos estos denotaban el ingenio que las personas encargadas de la instrumentación tenían para hacer mediciones. En ese momento se hizo evidente que presentaba muchas ventajas el hecho de tener cierto número de indicadores particularmente en aquellos lugares relacionados con los procesos.

Posteriormente se observó que era más conveniente colocar todos los instrumentos en un solo lugar, desde el cual se controlarían los procesos. Fue entonces cuando un tablero que proveía la superficie para montar estos indicadores hizo su aparición, concentrando todos los indicadores de condiciones del proceso a distancias quizá de hasta 60 metros con respecto del área de trabajo, esto ocasionó que los transmisores fueran desarrollados y de esta manera, termopares, termómetros de resistencia, celdas de PH, fueron algunos de los dispositivos eléctricos que posteriormente fueron de uso común.

Con esta centralización de indicadores las acciones de control podían ser efectuadas a distancia entrando con esto a la época del control semi-automático. Durante esta época también se desarrollaron los registradores, los cuales eran muy útiles ya que proveían una historia del proceso mediante la cual se podía saber si se había presentado algún problema, a

que hora y cuanto tiempo había transcurrido antes que se tomara alguna medida correctiva. En un principio los registradores fueron rechazados por los operadores, ya que los registradores los delataban cuando el proceso a su cargo era descuidado. Con el paso del tiempo los mismos operadores se dieron cuenta que mediante la historia que proveía el registrador no era posible que los culparan por errores que ellos no habían cometido.

Este fue el estado que guardaron los sistemas de control hasta la década de los 40s, pero para la mitad de esta década el control comenzó a tener grandes cambios, cambios que surgieron durante la segunda guerra mundial.

En lo referente a técnicas de control, se desarrollaron técnicas basadas en la respuesta en frecuencia, también se aprovechó la teoría de diseño eléctrico y mecánico para realizar analogías entre procesos industriales y sistemas de estos tipos ya que en ambos casos el objetivo era no obtener diferencia entre lo que era y lo que debería ser, con esta técnica el control pasó de ser un arte empírico a una ciencia más precisa.

La transmisión de señales de control mediante señales hidráulicas y eléctricas se incremento notablemente sobre todo en el campo militar donde este tipo de señales permitió desplazar el equipo con mayor rapidéz y cuidado. Por ejemplo, las transmisiones eléctricas fueron usadas para comunicar grandes cantidades de información instantáneamente al piloto de

un avión. De este tipo de prácticas se desencadenó el desarrollo de las transmisiones eléctricas y electrónicas en procesos variables de medición.

Después de la guerra al comienzo de los 50s, se desarrollaron los controles electrónicos. Los primeros circuitos electrónicos fueron alimentados mediante corriente alterna. Con la llegada en esa misma década del transistor, del amplificador operacional y de las tarjetas de circuitos impresos, los circuitos cambiaron sus fuentes de poder de corriente alterna a corriente directa.

Dos características fueron muy notables, la primera fue la reducción en tamaño de los circuitos y otra fue el aumento en la distancia de transmisión de señales.

De esta forma los circuitos de control también lograron reducir su tamaño hasta alcanzar dimensiones de 6 por 6 pulgadas o menores. Las dimensiones se han reducido tanto que un buen número de controladores instalados se puede asemejar a un librero. Este tipo de controladores fue designado con el nombre de arquitectura "split".

El siguiente paso en el desarrollo del control fue el uso de las computadoras digitales para realizar tareas de control, con lo cual también afloró la necesidad de capacitar personal que pudiera programar las computadoras para que estas realizaran cálculos, procesos de control y generación de señales para regulación de mecanismos y sostenimiento de

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

procesos de control.

Principalmente se le dieron tres enfoques a las computadoras dentro de las aplicaciones de control. La primera y la más simple fue la de adquisición de datos y registro de los mismos, la segunda fue llamada control supervisorio, en éste la computadora envía señales de control hacia controladores analógicos para cambiar los parámetros de ajuste del proceso y una vez que sucede esto, la computadora censa la salida para que sea procesada nuevamente; el tercer enfoque fue directamente el control digital, en esta modalidad la computadora genera señales que van directamente hacia los elementos finales de control, las funciones que generan estas señales están incluidas como parte de la programación de la computadora. En el caso de control supervisorio, la computadora cierra un lazo entre las variables del proceso medidas y las características del proceso deseadas todo esto bajo la supervisión de un programa que optimiza, modela la porción del proceso o realiza funciones de control muy sofisticadas.

Las computadoras digitales tuvieron sus primeras aplicaciones de control en procesos de pulpa de papel, en la industria química y en la industria del acero. Existieron otras aplicaciones, que por su magnitud no fueron consideradas tan importantes como las mencionadas en un inicio, una de las aplicaciones que recibió un poco más de atención fue la detección de fallas, en ésta la computadora aplicaba impulsos

de prueba a los controladores y analizaba la respuesta detectando cuando un controlador estaba en mal estado.

En un principio se dudó de la factibilidad de los sistemas de control basados en computadora. Existían dos razones muy poderosas. La primera fue que las computadoras alcanzaban altos precios en aquellos tiempos, tanto en Hardware como en Software, las razones de esto eran evidentes, las computadoras eran la innovación tecnológica lo cual las hacía caras, además también se observaba la necesidad de contar con una persona que se encargara del manejo y programación de la computadora.

La segunda razón fue que en la etapa de desarrollo en que se encontraba la computadora no era completamente realizable, el factor principal fue la seguridad, si la computadora llegaba a fallar por cualquier motivo, el área de la planta que la máquina controlaba se venía abajo junto con ella. Fue por esto que los empresarios se mostraban renuentes a poner su producción entera descansando sobre la capacidad de operación continua de una simple máquina. Al respecto los empresarios se hacían algunas preguntas, qué sucedería si la computadora fallara?, debería existir una segunda computadora que pudiera asumir el mando en caso de que la primera fallara?, cómo tendrían que ser las comunicaciones entre ambas computadoras para que las dos estuvieran actualizadas?, estas importantes interrogantes fueron las razones por las cuales el uso de la computadora en tareas de control no se generalizó rápidamente.

En el inicio de la década de los 70s, la tecnología dió otro gran paso con el desarrollo de los circuitos LSI (alta escala de integración). Estos circuitos podían lograr una gran cantidad de transistores en un pequeño trozo de silicio, lo que ocasionó que los precios se redujeran incrementando la capacidad de realización de los sistemas computarizados.

A pesar de que los controles electrónicos parecen ser la alternativa de control digital definitiva, existen casos en que los controles convencionales basados en relevadores electromagnéticos son más deseables, sin embargo este hecho no es una razón suficientemente poderosa para abandonar la idea de que en un lapso de tiempo no muy largo los controles basados en relevadores serán completamente obsoletos.

En la actualidad existen dos tipos de controles electrónicos, alambrados y programables. Los sistemas de control electrónico del tipo alambrado son semejantes en filosofía a los controladores por relevadores, esta semejanza se basa en la existencia de circuitos específicos relacionados con funciones específicas, mientras que en los controles electrónicos programables, la relación existente entre una función de control y una conexión física es únicamente a través de un programa, el cual puede ser modificado según la necesidad. Esta es una de las razones más poderosas para decidir instalar un control electrónico programable o control lógico programable (PLC), además existen otras razones por las

cuales los PLCs se están convirtiendo en la alternativa más viable. Entre estas razones podemos mencionar las siguientes, un PLC se puede convertir en una inversión más económica, ya que se puede reducir el equipo de control mediante una buena selección del controlador, si alguna función de control no fue prevista, ésta es más fácil de implementar mediante un sistema basado en lógica programada. Además el equipo es generalmente más compacto lo cual reduce el costo, ya que permite reducir el tamaño de los tableros de control, hasta encontrar el tamaño adecuado en el que el tablero no sea muy grande o tan pequeño que ocasione problemas de alambrado final.

En caso de que un PLC sea utilizado, el equipo puede ser instalado antes de que el diseño de la lógica esté completamente terminado, esto es, puede ser manufacturado, montado e incluso alambrado externamente. Las correcciones sobre las lógicas pueden ser fácilmente realizadas en el lugar mismo de la aplicación, esto facilita reparar fallas sobre consideraciones que fueron hechas bajo un criterio equivocado y también permite una expansión del equipo en caso de ser necesario posteriormente.

A pesar de que los PLCs, ofrecen ventajas como las mencionadas anteriormente, no hay que olvidar que el cambio de tecnología trae consigo la necesidad de capacitación del personal de operación, el cual deberá recibir un entrenamiento que le permita poder realizar pruebas de funcionamiento así

como hacer consideraciones para el buen interconectado del sistema con otros equipos electrónicos. También será necesaria la adquisición de equipo periférico como CRTs, lectoras y grabadoras de cinta magnética, etc.

La misma carrera tecnológica es otro inconveniente con que cuentan los PLCs, ya que al estar cambiando día con día, es posible que en un futuro no se cuente con refacciones o soporte técnico especializado. Otro inconveniente con que cuentan los PLCs, es la necesidad de interface, ya que en general las señales provenientes de campo no se pueden acoplar directamente al controlador, otro motivo también lo constituye la incapacidad del controlador para manejar salidas de potencia directamente y por último tenemos que hacer mención del ruido, ya que éste forma parte de la contaminación ambiental existente casi en cualquier proceso industrial.

Aún con estas desventajas que hemos mencionado, en la actualidad la tendencia que existe en procesos complejos es definitivamente hacia la aplicación de PLCs.

MODERNIZACION DE CENTRALES DE GENERACION.

Los altos costos de los bienes de capital han requerido de los ingenieros el uso de toda su habilidad para establecer nuevos criterios de que permitan mantener un crecimiento constante de los satisfactores, en este caso la generación de energía eléctrica.

Esto ha sido la razón principal por la cual los nuevos

critérios ahora en lugar de planear la construcción de nuevas plantas generadoras se prefiere la modernización de las ya existentes, con el propósito de alargar la vida de las mismas y optimizar el funcionamiento de las ya existentes. Al respecto de esta modernización, en la actualidad son empleados algunos términos que por sí solos no constituyen la modernización de los equipos de control.

Estos términos son usados muy frecuentemente y tal vez en algunos casos se utilicen unos por otros. Estos términos son "sustitución, aumento de rango, convergente, reconvergente y retroalimentar". Algunas de estas expresiones poseen mucho más de significado que el que nosotros podríamos asociarle, es por esto que para nuestros propósitos daremos una definición con la cual sea posible llegar a una interpretación uniforme.

Sustitución. Es en general un término mediante el cual se entiende que existe reemplazo de equipo de planta en relación uno a uno con equipo moderno.

Aumento del rango. Este término se refiere al incremento de la salida del conjunto turbina, generador.

Conversión. Involucra un cambio en la operación de la planta, por ejemplo el uso de un combustible diferente, cambiar de un sistema de enfriamiento abierto a un sistema de enfriamiento cerrado.

Reconversión. Que para nuestros propósitos significará el regreso a una caldera alimentada con carbón.

Retroalimentar. Usualmente se referirá a la adición de equipo nuevo como podría ser un sistema de control de calidad

de aire.

Como podemos observar estas actividades antes mencionadas implican una modernización de control, sin olvidar que éstas son el resultado de un criterio de modernización mucho más amplio.

Sería conveniente recalcar que siempre que se pretende una modernización de control es importante determinar primeramente el costo y los beneficios derivados de dicha modernización.

Motivos para la modernización de control. Es muy importante hacer notar que el costo de los equipos de control e instrumentación dentro de una planta generadora es apenas de un 4 a 6%, lo cual no implica que la importancia de estos sistemas sea mínima, ya que estos sistemas tienen una amplia influencia en la posibilidad de falla, rehabilitación y economía de la planta. Otra característica muy importante que tenemos que hacer notar es que los equipos de instrumentación y control constituyen una gran parte de los equipos que más rápidamente cambian debido a los avances tecnológicos, pero que también sólo requieren de pequeñas modificaciones del equipo para lograr implementaciones significantes en operacionalidad y seguridad.

Alguna o una combinación de las siguientes razones deberán mostrar las ventajas potenciales de la modernización del control:

- * Lo obsoleto del equipo existente y la dificultad

para el remplazo de partes.

- * Los altos requerimientos de mantenimiento.
- * El deseo de implementar operaciones más seguras mediante la adición de equipo de control, así como la necesidad de implementar funciones dentro de las secuencias establecidas y la incapacidad de resolver estas necesidades con el equipo original.
- * Los operadores deberán ser más capacitados, además de que deberán ser provistos de una mejor interfaz operador-máquina en el puesto de control.
- * Reducción de operadores mediante la centralización de las funciones de control.
- * El deseo de realizar una interfaz operador-máquina y cambios en los sistemas de control para conformar nuevas plantas.
- * El deseo de implementar una alta rehabilitación en la planta, un alta mantenibilidad y eficiencia mediante la implementación de control, monitoreo y correlación de datos de la planta.
- * Obtener una rápida respuesta del sistema ante los requerimientos de carga y frecuencia del sistema.

Objetivos de la modernización de control. Los esfuerzos de la modernización están más directamente enfocados hacia las plantas que cuentan con una ignición mediante carbón y también a aquellas plantas con ignición mediante gas y aceite .

La modernización de control puede darse en cualquier

punto de la planta donde existan elementos de control, sin embargo existen áreas de la planta donde la influencia en operabilidad, seguridad y economía son determinantes, estas áreas son las siguientes:

- * Caldera.
- * Conjunto turbina generador.
- * Control complejo.
- * Sistema de adquisición y procesamiento de datos.

Caldera. Existen básicamente dos cambios en la modificación del equipo de control de la caldera dependiendo del tipo de control existente:

- * En plantas equipadas con control neumático cuyo cambio puede ser el remplazo por un equipo neumático más sofisticado.
- * En plantas equipadas con control neumático cuyo cambio puede ser el remplazo por un equipo electrónico moderno, o el cambio de un control eléctrico por un control electrónico.

Una vez que se ha decidido la implantación de un control electrónico será necesario realizar una evaluación adicional para poder decidir entre un control analógico y un control basado en microprocesadores, en caso de no tratarse de un control lógico.

Los beneficios en operabilidad y seguridad de la modernización de control de la caldera son muchos, así como

también lo son los objetivos de la modernización, es por esto que agruparemos estos objetivos en los siguientes grupos, conceptos, sistemas e instrumentación.

Conceptos:

- 1.- Transferencia de manual a automático y de automático a manual.
- 2.- "Stay-up" sobre la pérdida de señal de control intermedia.
- 3.- Control lógico de sobrecarga.
- 4.- Límite inferior de flujo de aire.
- 5.- Control coordinado.
- 6.- Control de la temperatura por computadora.
- 7.- Técnica del control en cascada.
- 9.- Arquitectura "split".

Sistemas:

- 1.- Control de combustión y alimentación de agua.
- 2.- Control de la temperatura del vapor.
- 3.- Control de quemadores.
- 4.- Control de la presión del hogar de la caldera.
- 5.- Control de prevención contra implosión en el hogar de la caldera.
- 6.- Seguridad en combustibles y purga en el hogar.

Instrumentación:

- 1.- Medición de flujo de aire.
- 2.- Medición de flujo de vapor.
- 3.- Medición de oxígeno.

Conjunto turbina generador. Este conjunto no se presta mucho a la modernización, ya que una vez que el sistema de gobierno de la turbina es instalado en una unidad particular, no es fácil llevar a cabo cambios. Sin embargo existen accesorios o sistemas de este conjunto que se prestan más para llevar a cabo una modernización. Estos subsistemas y accesorios son:

- * Instrumentación supervisoria de la turbina.
- * Control remoto de arranque y rotación.
- * Sistema de monitoreo de los esfuerzos del rotor.
- * Sistema de protección contra inducción de agua en la turbina.

Control complejo. La modernización del control complejo puede ser tan extensa o tan limitada como pueda ser imaginada, dependiendo del nivel de la instalación. Algunas de las alternativas son las siguientes:

- * Reemplazo únicamente de los controles e indicadores existentes con un mínimo de rearreglo.
- * Modificación de los tableros existentes (disposición vertical a una disposición de mesa con panel frontal).
- * Reemplazo de los tableros de control (los arreglos

originales son poco funcionales actualmente).

- * Rediseño del sistema de señalización (para facilitar el trabajo del operador).
- * Rediseño del concepto de control centralizado (algunas plantas manejan aún un concepto atrasado).

Sistema de adquisición y procesamiento de datos. Con respecto a estos sistemas, es posible encontrar tres tipos de plantas.

- 1.- Plantas en las cuales no se contempló este sistema y únicamente se utilizan tableros y paneles de control.
- 2.- Plantas en las que algo de esto fue contemplado y la planta se equipó con algún tipo de tablero de despliegue y equipo de registro.
- 3.- Plantas que fueron originalmente equipadas con computadoras digitales para llevar a cabo un monitoreo.

Beneficios económicos de la modernización del control. Es fácil observar que los cambios hechos para llevar a cabo una modernización traen consigo un beneficio en operabilidad de la planta, pero asignar un valor económico será en algunas ocasiones difícil. Una razón de esta dificultad estriba principalmente en el factor humano. Por ejemplo, ¿qué valor económico deberá ser asignado a un mejor sistema de señalización que permita al operador discriminar la importancia de los estados de alerta de la planta?

Esta dificultad es la que obliga a separar los beneficios

en dos listas, la primera es de aquellos que pueden ser cuantificados económicamente con dificultad y otra de aquellos que no son fácilmente cuantificables.

Cuantificables:

- * Reducción en el equipo de operadores y personal de mantenimiento.
- * Reducción en el consumo de combustible.
- * Una mayor capacidad de regulación de carga.

Los siguientes beneficios de la modernización son aquellos que no pueden ser cuantificados económicamente con facilidad, ya que su valor individual es muy subjetivo, no obstante, estos beneficios contribuyen a los mencionados anteriormente:

- * Mejorar los factores humanos de ingeniería de la interface operador-máquina, con lo cual deberá reducirse la posibilidad de que el operador cometa un error.
- * Mejorar en conjunto las características de operación de la unidad, resultando en un tiempo de arranque más corto, mejor supervisión y seguridad de operación en falla.
- * Mejorar en conjunto la exactitud y disponibilidad de la unidad.

APLICACION PARTICULAR.

Anteriormente se habló de modernización en plantas generadoras del tipo termoeléctricas y se mencionó que principalmente está enfocada a plantas cuya ignición se realiza mediante carbón, no obstante esto no excluye a aquellas plantas cuya ignición se realiza mediante gas o aceite, tal es el caso de la central generadora "Termoeléctrica Valle de Mexico, Unidad 4", la cual nos ocupará a lo largo de este trabajo.

Al igual que las demás plantas generadoras la termoeléctrica "Valle de México" cuenta con dos tipos de controles, analógicos y digitales. Entre los controles analógicos con que cuenta la unidad podemos mencionar los siguientes:

Sistema de control de la caldera. Normalmente este sistema es adquirido junto con la caldera, aunque existen razones para obtener este control por separado, una de ellas es el deseo o necesidad de tener un cierto tipo de instrumentación y la segunda es que algunas plantas tienen requerimientos especiales de operación.

Otro sistema es el control de la turbina. Esta unidad cuenta con un sistema electrohidráulico de control el cual está compuesto de la circuitería y equipo necesario para proveer control y protección a la turbina. Tiene como función el control automático de la velocidad y aceleración de la turbina en todo el rango de operación.

Control de velocidad y carga. El flujo de vapor y recalentado es controlado mediante un arreglo convencional de

válvulas. Las válvulas de control del tipo de estrangulación controlan el flujo de vapor para un amplio rango de velocidad durante el arranque y las válvulas del gobernador controlan el flujo de vapor para sincronizar y controlar la carga.

Control de temperatura. Tiene como función proteger al rotor contra choques térmicos resultantes de cambios bruscos en la temperatura del vapor. Es importante notar que el daño que sufra el rotor estará determinado por la magnitud de los cambios de la temperatura del vapor.

Control de sobrevelocidad. El control de sobrevelocidad está basado en el principio de anticipación. La salida eléctrica del generador es medida y comparada contra la presión del vapor la cual representa la energía de entrada a la turbina que impulsa al generador. En caso de que alguna baja de carga se presente podrán realizarse cualquiera de las dos siguientes funciones: durante alguna caída parcial de carga las válvulas interceptoras de vapor son cerradas y vueltas a abrir después de un corto tiempo. Otra acción que podría ser ejecutada en un caso más drástico sería que tanto el gobernador como el interceptor cerrarían sus válvulas hasta que la velocidad del rotor regrese a la velocidad sincrónica.

Sistema de protección de la turbina. Este sistema tiene por función principal iniciar una acción de respuesta a cualquier condición de operación anormal y además indicar al operador la existencia de dicha anomalía.

Existen algunos sistemas más del tipo analógicos, entre

los que podemos mencionar el control de nivel del desaereador y el control de drenaje del calentador alimentador de agua.

Ahora hablaremos acerca de los controles digitales, los que primeramente están definidos como sistemas o subsistemas que responden a dispositivos que únicamente cuentan con dos estados posibles, encendido o apagado, concepto que frecuentemente es comparado con la aritmética binaria donde únicamente existen dos estados 0 o 1. Este tipo de control es muy necesario ya que existen diferentes procesos cuyas entradas son del tipo digital. Algunos ejemplos de este tipo de entradas son:

- * Interruptores de flujo.
- * Interruptores de nivel.
- * Interruptores de presión.
- * Interruptores de presión diferencial.
- * Interruptores de temperatura.
- * Interruptores de torque.
- * Interruptores de proximidad o vibración.
- * Botones del panel de control.

Además de este tipo de entradas digitales existen otras entradas digitales asociadas con equipo eléctrico, tal es el caso de los siguientes ejemplos:

- * El estado del control de relevadores.
- * El estado de los circuitos de protección de prueba.
- * El estado de los circuitos de protección.
- * El estado del relevador de sobrecarga.

Todos estos tipos de entradas son digitales y pueden

presentarse en cualquier parte de la planta, ahora haremos mención de algunas entradas que son muy importantes y que deben ser clasificadas como entradas digitales.

- * Interruptores de presión, posición y estado de la flama proveniente del detector de flama.
- * Interruptores de control, luces indicadoras colocadas en el tablero de control, representan entradas y salidas digitales respectivamente.
- * Otras entradas y salidas importantes además del estado de control es el estado de los registros de aire, válvulas a quemadores, y válvula principal de combustible.

Ahora haremos mención del principal sistema digital con que generalmente cuenta una planta generadora y su división en subsistemas.

Control de quemadores. Este es un control extremadamente complicado y será, el que será desarrollado a lo largo de este trabajo. Para empezar podemos mencionar que este control es tan importante que es un verdadero problema tomar la decisión de adquirirlo junto con la caldera o por separado. Muchos factores deben ser tomados en cuenta incluyendo la experiencia que tengamos en calderas hasta la experiencia con que cuentan las compañías que pueden diseñar el control.

Un control de quemadores puede estar dividido en 6 partes

- 1.- Purga del hogar de la caldera.

- 2.- Operación de ignición.
- 3.- Operación de preparación del quemador.
- 4.- Seguridad del combustible.
- 5.- Despliegue de alarmas.
- 6.- Detección de flama.

Purga del hogar de la caldera. Esta operación requiere de muchas condiciones que actuarán como permisivos para poder llevar a cabo esta operación. Algunas de éstas son:

- * Todos los alimentadores de combustible apagados.
- * Todos los ventiladores primarios funcionando.
- * Todas las válvulas de precalentamiento de quemadores cerradas.

Existen más permisivos que se pueden agrupar con los anteriores que denominaremos permisivos primarios. Una vez que éstos se han cumplido, el ciclo de purga requiere del cumplimiento de un segundo grupo denominado permisivos secundarios entre los que encontramos por ejemplo:

- * Flujo de aire entre 30 y 40%.
- * Todos los registros auxiliares de aire abiertos.
- * Todos los registros de aire para combustión cerrados.

Estos dos grupos de permisivos deben ser cumplidos para que un ciclo de purga pueda ser llevado a cabo.

Sistema de ignición. Este sistema sigue una secuencia que debe ser ejecutada para lograr una ignición segura. Además una vez en operación debe realizar un continuo monitoreo para lograr una operación segura. Al igual que en el sistema de purga deben cumplirse una serie de permisivos para llevar a

cabo la ignición.

Sistema de preparación del quemador. Este sistema tiene una función muy parecida al anterior, ya que también tiene por función supervisar una operación segura de precalentado del quemador. Igualmente un cierto número de permisos deben ser cumplidos para que este sistema lleve a cabo su función.

Sistema de seguridad de combustible. Este sistema tiene por función principal monitorear las condiciones de la caldera e iniciar un disparo maestro de combustible cuando las condiciones no estén dentro de los límites establecidos. De igual manera este sistema requiere de permisos para poder actuar.

Despliegue de alarmas. Este sistema monitorea todos los demás sistemas y provee un despliegue visual del estado de todos los sistemas y las condiciones de alarma relacionadas con situaciones críticas que requiere el operador para mantener la unidad en un estado de operación seguro.

Sistema de detección de flama. Este sistema es uno de los más importantes ya que será el que proporcione la entrada digital al control de quemadores para que éste inicie operaciones de seguridad en caso de que los quemadores lleguen a fallar por alguna causa.

En general éste es un resumen de lo que es el control digital más importante dentro de las plantas generadoras del tipo termoeléctrica.

Una vez ya con un panorama más amplio de los sistemas de

control de una planta generadora del tipo termoeléctrica, podemos observar que un gran peso en la operacionalidad de la planta recae sobre el control de quemadores. A lo largo de este trabajo se describirá la implementación de un sistema de control distribuido basado en controladores lógicos programables, aplicado al control de quemadores y lógico de la caldera de la unidad 4 en la central termoeléctrica "Valle de México", el cual ha tenido problemas de operación desde el inicio de la vida comercial de la unidad, provocando que la unidad esté fuera de servicio en repetidas ocasiones, generando pérdidas por millones de pesos. Además se describirán los principios de implementación del nuevo sistema, así como las lógicas de operación con las que ha de trabajar, una breve descripción de las características del mismo, así como las reglas como las que ha de ser programado junto con los programas representativos de las lógicas y por último, una conclusión.

APENDICE B

PURGA.

La caldera no podrá ser operada si antes no se ha efectuado un proceso de purga con duración de 5 minutos. Ahora bien, para iniciar un proceso de purga, es necesario que se cumplan los siguientes permisos:

- 1.- Al menos un tiro forzado trabajando.
- 2.- Nivel de agua en el domo normal.
- 3.- Todas las válvulas de alimentación de aceite para ignición cerradas.
- 4.- Todas las válvulas de alimentación de gas para ignición cerradas.
- 5.- Todas las válvulas de alimentación de gas para pilotos cerradas.
- 6.- Todos los quemadores completamente retraídos.
- 7.- Válvulas principales de corte de gas frontal y trasera cerradas.
- 8.- Válvulas de venteo de gas frontal y trasera abiertas.
- 9.- Válvulas principales de corte de aceite frontal y trasera cerradas.
- 10.- Válvula de gas a pilotos frontal y trasera cerradas.
- 11.- Válvulas de venteo de gas a pilotos frontales y traseros abiertas.
- 12.- Flujo de aire de combustión entre 25 y 35% M.C.R.

13.- Todos los detectores de flama en el hogar indicando no flama.

14.- Al menos, uno de cada par de registros de aire abiertos. Esto con el fin de asegurar un flujo de aire distribuido a través del hogar de la caldera con la mitad de los quemadores fuera de servicio.

El proceso de purga se encuentra señalizado de la siguiente manera. Cuando un proceso de purga es requerido y antes de que el operador realice cualquier operación, una lámpara se encontrará encendida indicando el estado, cuando el operador presiona el botón, el proceso de purga se inicia y la señalización cambia a purga en proceso, después de 5 minutos automáticamente cambia la señalización a purga completada terminando con esto el proceso y dando los permisos para el restablecimiento de combustibles.

RESTABLECIMIENTO DE COMBUSTIBLE (GAS).

A continuación se realizará la descripción de los sistemas frontales tanto para gas como para aceite, sin olvidar que los sistemas traseros son idénticos. Se describirá primeramente el restablecimiento de gas a pilotos, en el que inicialmente deberán cumplirse las siguientes condiciones:

1.- Purga terminada.

2.- Al menos un tiro forzado trabajando y nivel del domo

normal.

- 3.- Válvula de venteo de gas a pilotos frontal abierta.
- 4.- Presión del gas a pilotos en cabezal frontal normal.

Ya con estos permisos únicamente es necesario presionar el botón correspondiente para abrir la válvula principal para gas a pilotos frontales y todo quedará listo.

Ahora se describirá el restablecimiento de gas a quemadores frontales para lo cual deberá cumplirse:

- 1.- Válvula para venteo de gas a quemadores frontal abierta.
- 2.- Cualquier ventilador de tiro forzado trabajando y nivel del domo normal.
- 3.- Gas seleccionado o aceite y gas seleccionado.
- 4.- Presión del gas en el cabezal frontal normal.
- 5.- Permiso para abrir válvula principal de combustible.

Una vez que se cumplieron los permisos se presiona el botón de restablecimiento disparo gas frontal y por último el botón de abrir válvula gas principal frontal, si las condiciones no cambian se obtendrá el permiso para arrancar quemadores de gas frontales.

REESTABLECIMIENTO DE COMBUSTIBLE (ACEITE)

Reestablecimiento de disparo de aceite frontal. Para

llevar a cabo esta operación será necesario que primero se cumplan los siguientes permisos:

- 1.- Cualquier ventilador de tiro forzado operando y nivel del domo normal.
- 2.- Aceite seleccionado o aceite y gas seleccionados.
- 3.- Presión de aceite en cabezal frontal normal.
- 4.- Presión vapor de atomización frontal normal.

Una vez que se cumplen estos permisos únicamente faltará presionar el botón de reestablecimiento de disparo.

Ya con el sistema de aceite frontal reestablecido, se impide abrir la válvula de recirculación de aceite frontal y da el permiso para abrir la válvula principal de aceite frontal. Presionando el botón de apertura de la válvula de aceite frontal, la válvula se abre y a la vez se completan los permisos con los que se genera la señal para arrancar quemadores de aceite frontales.

Cuando alguno de los permisos anteriores se pierde se genera nuevamente el disparo de aceite frontal, eliminando el permiso para arranque de quemadores.

Ahora bien, un cierre de la válvula principal de aceite frontal requiere en primer lugar, que la válvula esté abierta y en segundo que se presente alguno de los siguientes permisos:

- 1.- Gas seleccionado.
- 2.- Disparo de caldera.

- 3.- Presión en cabezal de aceite frontal baja.
- 4.- Presión en vapor de atomización en cabezal frontal baja.
- 5.- Presionar botón cierre de válvula de aceite principal frontal.

Con esta combinación de señales se ordena inmediatamente el cierre de la válvula principal de aceite frontal y la apertura de la válvula de recirculación de aceite frontal. La apertura de la válvula de recirculación también da permiso a que se abra nuevamente la válvula principal de aceite, esto mediante la presión del botón correspondiente, aunque la válvula pueda ser nuevamente abierta, esto no es suficiente para autorizar el arranque de los quemadores ya que la condición de disparo se encuentra presente. Existe otra alternativa para poder abrir la válvula de recirculación y ésta es cuando existe disparo de la sección frontal y todas las válvulas de quemadores frontales de aceite se encuentran cerradas, si estas dos condiciones se cumplen únicamente será necesario presionar el botón de apertura de la válvula de recirculación con lo que nuevamente se dará alternativa de apertura de la válvula principal de aceite, pero sin cumplir las condiciones de permiso para arranque de quemadores frontales.

ARRANQUE DEL QUEMADOR IF (ACEITE O GAS)

El arranque de quemadores es una de las funciones más

importantes del sistema ya que es el momento en que se encienden flamas y se inyecta el combustible al hogar de la caldera y cualquier mal manejo puede provocar una explosión que acabe con la misma caldera.

Los quemadores pertenecientes a la caldera de la unidad cuatro, están diseñados para quemar dos tipos de combustible, aceite y gas, siendo de mayor predominancia el segundo. Esto ocasiona que el control de arranque se complique y tenga que ser necesaria la utilización de dos lógicas de control diferentes.

En la descripción siguiente la lógica se seguirá primeramente para un encendido mediante aceite en el que todo resulte bien, posteriormente se supondrán algunas fallas y se describirá entonces la nueva secuencia, finalmente se explicarán las secuencias que sigue un arranque mediante gas y sus posibles fallas.

ARRANQUE MEDIANTE ACEITE

Permisivos:

- 1.- Permisivo para arrancar quemador frontal de aceite.
- 2.- Válvula de vapor de limpieza cerrada.
- 3.- Válvula de aceite al quemador cerrada.
- 4.- No hay flama en el quemador detectada.
- 5.- Válvula de vapor de atonización cerrada.
- 6.- Quemador retraído.
- 7.- No hay flama en el piloto detectada.

Una vez que todos los requisitos anteriores se han cumplido se selecciona la posición de control (local o remota), ya definido hasta este punto es entonces cuando se da la orden de encender el quemador.

Primeramente se procede al encendido del piloto, para lo cual se energiza la bobina de ignición durante tres segundos, y se abre la válvula de gas/aire del piloto, además de avanzar el quemador y abrir la válvula de vapor de atomización. Durante los tres segundos la flama es monitoreada, si la flama es detectada dentro de este periodo de tiempo, se prosigue. Con la condición de flama de piloto y la de prueba de piloto no existente se ordena la apertura del registro de aire y de la válvula que permite el paso del aceite al quemador, al mismo tiempo se monitorea la flama del quemador, si ésta es detectada por alguno de los dos sistemas de monitoreo existentes, se genera la señal de "flama quemador detectada", para esto se cuenta con un periodo de tiempo de dos segundos, una vez que esta flama ya se estableció se monitorea durante diez segundos. Si en este tiempo la flama no se pierde se genera la señal de "flama quemador probada", que indica que el quemador trabaja en estado estable.

Ahora bien suponiendo que la flama falla en el inicio y la flama del piloto no se establece en los tres segundos señalados, se asegura que no exista flama en el quemador y se genera la señal de "falla encendido de piloto" y se interrumpe la secuencia.

Si la falla es más adelante, esto es que la flama del piloto si se establece, se prosigue con la secuencia, se abre el registro de aire y la válvula de aceite al quemador, y se monitorea la flama del quemador, si ésta no se establece dentro de un período de dos segundos, se verifica si algún otro quemador está funcionando, de ser así la falla se declara como "quemador a limpieza por falla a encendido", si no existe otro funcionando entonces se declara como "quemador de aceite falla a encendido". Otra opción de falla consiste en que la flama se establezca en los dos segundos, pero no se mantenga los restantes diez segundos, provocando que se corte la secuencia y se genere la señal de "flama de quemador no probada", al mismo tiempo al no detectar flama en el quemador, se recae en la condición de falla de quemador.

ARRANQUE MEDIANTE GAS

Permisivos:

- 1.- No hay flama quemador detectada.
- 2.- Válvula vapor de atomización cerrada.
- 3.- Quemador retraído.
- 4.- No hay flama piloto detectada.
- 5.- Permisivos para arrancar quemadores de gas frontales.
- 6.- Válvula de gas a quemador cerrada.

Una vez que todos los permisos han sido satisfechos se procede a seleccionar la posición de control, local o remota,

una vez hecho esto se oprime el botón de arranque quemador gas, generandose la señal correspondiente, al mismo tiempo que se abre la válvula de vapor de atomización y se avanza el quemador, también se energiza la bobina de ignición y se abre la válvula de gas/aire de piloto.

En este momento se asegura de que no exista flama en el quemador probada y que no haya flama en el piloto detectada, con estas condiciones se da un tiempo para el establecimiento de la flama de tres segundos, si en este tiempo la flama se establece se genera la señal de "no hay falla encendido de piloto" y la de "flama de piloto detectada", con esta última y la de "arranque quemador de gas" se abre la válvula de gas a quemador. Una vez que la flama es detectada, se realiza un monitoreo de diez segundos, si la flama se mantiene este tiempo se genera la señal de "flama quemador detectada". En caso de pérdida de flama se genera la señal de "no hay flama en quemador detectada", la falla en el encendido del piloto sigue la misma secuencia que el quemador de aceite.

Además de estas lógicas existe una más asociada con la prueba de piloto, esta lógica se asegura de que no exista señal de "falla encendido de piloto" y que exista señal de "prueba de piloto", con estas condiciones se energiza la bobina de ignición y se abre la válvula de gas/aire de piloto, una vez que sucedió esto se espera un lapso de tres segundos, en el cual, si la flama se establece se genera la señal de "no hay falla encendido de piloto", si la flama no se establece se genera la señal de "falla encendido de piloto".

No hay que perder de vista que el funcionamiento del quemador 1F es el mismo para todos los demás quemadores sin importar si son traseros o frontales, se debe recordar también que los quemadores frontales van del 1F al 9F y los traseros del 1R al 6R.

PARO Y LIMPIEZA DEL QUEMADOR 1F

La función de paro y limpieza del quemador es una función importante cuando se maneja aceite, ya que bajo ninguna circunstancia el quemador puede quedar sin limpieza después de un paro o algún disparo de quemador.

El aceite que se quema en la caldera tiene una alta densidad a temperatura ambiente, es por esto que si un quemador es parado, el aceite puede llegar a enfriarse en el quemador produciéndole un atascamiento tal que para poder ser puesto en servicio, sea necesario desarmarlo primeramente para practicarle una limpieza.

De aquí que sea más fácil limpiar el quemador antes de que se enfríe, aunque para ello sea necesario prender nuevamente el piloto y luego inyectar el vapor de limpieza. Podría únicamente limpiarse el quemador aunque no se quemara el aceite que éste contenga, pero a la vez esto provocaría problemas, ya que al estar el hogar caliente el aceite que fuera arrojado al interior se gasificaría pudiendo provocar una explosión. Otro problema que se ocasionaría sería que al caer el aceite sobre los tubos éste se puede prender provocando una ignición directa sobre el tubo, el cual no está diseñado para

esto y puede fallar por calentamiento.

El paro con gas no produce problemas. A continuación se describirá el paro con gas y aceite y por último la limpieza del quemador.

PARO DEL QUEMADOR IF (GAS)

La función principal de esta lógica es llevar al quemador a una condición de paro con la mayor seguridad posible.

Primeramente se mencionará que existen tres causas por las que se da la orden del cierre de la válvula de gas al quemador:

- 1.- Paro local o remoto del quemador de gas.
- 2.- Quemador de gas falla a encendido.
- 3.- Pérdida de flama en quemador.

Con cualquiera de estas tres condiciones es posible generar la señal de "cierre de la válvula de gas", acción mediante la cual se bloquea la señal de "pérdida de flama en quemador".

Otra función contenida en las lógicas de paro y limpieza es la encargada de declarar la falla del quemador. Esta función se genera mediante los siguientes permisivos:

- 1.- No hay flama quemador detectada.
- 2.- Hay flama piloto detectada.
- 3.- Arranque quemador con gas.

Una vez que se cumplen los permisos únicamente se requiere de un tiempo de 2 segundos para que se genere la señal de "quemador gas falla a encendido". Estas son las funciones correspondientes a gas

PARO DEL QUEMADOR 1F (ACEITE)

Para generar la señal de "paro quemador con aceite" es necesario que se cumplan los siguientes permisos:

- 1.- Paro local o remoto quemador con aceite.
- 2.- Quemador avanzado.

Con estas dos señales o con la de "limpieza manual de quemador" se genera la de "paro quemador con aceite". El cierre de la válvula de aceite al quemador puede ser realizado mediante cualquiera de las siguientes señales:

- 1.- Paro quemador con aceite.
- 2.- Quemador de aceite falla a encendido.
- 3.- Pérdida de flama en el quemador.

Una vez que la válvula se cerró es necesario que se cumplan algunos permisos más para la limpieza del quemador, estos son:

- 1.- Hay flama piloto detectada.

- 2.- Algún quemador operando.
- 3.- Quemador a limpieza por falla encendido.
- 4.- Limpieza de quemador.

Entonces, si se cumplen 1 ó 2 y 3 ó 4 se da la orden de abrir la válvula de vapor de limpieza y 45 segundos después se ordena el cierre de la misma válvula.

Otra función es también la de detectar la falla en el encendido para lo cual se deben cumplir los siguientes permisos:

- 1.- No hay flama en el quemador detectada.
- 2.- Hay flama en el piloto detectada.
- 3.- Señal de arranque quemador con aceite.

Si estas condiciones se cumplen únicamente será necesario esperar dos segundos para generar la señal de "quemador con aceite falla a encendido".

LIMPIEZA DEL QUEMADOR 1F

Como se menciona limpieza del quemador es una de las lógicas importantes ya que un mal manejo pondría al quemador fuera de servicio un tiempo considerable. Para llevar a cabo una limpieza será necesario cumplir con los siguientes permisos:

- 1.- Purga terminada.

2.- Ningún quemador en limpieza.

Ya con los permisos únicamente será necesario cerrar el interruptor de purga manual con lo que se genera el permiso para limpieza. Una vez con el permiso únicamente será necesario presionar el botón de limpieza del quemador de aceite, sin importar si es local o remoto, de esta forma se genera la señal de "limpieza manual" y se ordena avanzar el quemador y abrir la válvula de vapor de atomización. Una vez llevadas a cabo estas dos acciones es energizada la bobina de ignición y se ordena la apertura de la válvula gas/aire al piloto, si se detecta flama en el piloto se completan los permisos y se ordena abrir la válvula de vapor de limpieza, la cual permanecerá abierta durante 45 segundos antes de que se ordene el cierre de la misma.

En caso de que la flama en el piloto no se establezca en un tiempo de tres segundos y se cumplan los siguientes permisos:

- 1.- Falla encendido de piloto o no hay comando de "paro con aceite".
- 2.- No hay flama quemador detectada.
- 3.- No hay arranque con gas.
- 4.- No hay prueba de piloto.
- 5.- Orden de ignición.
- 6.- No hay flama en el piloto.

- 7.- No hay flama en el hogar.
- 8.- No hay arranque con aceite.

Entonces se procede a cerrar la válvula de vapor de atomización y retraer el quemador.

Existe otra función implementada en estas lógicas y ésta es la de cerrar el registro de aire.

Para llevar a cabo el cierre del registro es necesario tener presente la señal de "cerrar todos registros de aire" o cumplir con los siguientes permisos:

- 1.- No hay flama piloto detectada.
- 2.- No hay flama quemador detectada.
- 3.- No hay comando de limpieza.
- 4.- No hay comando de paro con aceite.
- 5.- Ningún disparo presente.
- 6.- No hay prueba de piloto.
- 7.- Arranca primer quemador y no hay flama en el hogar o no hay permiso para arrancar quemador.

De estas dos formas es posible ordenar el cierre del registro de aire.

DISPARO DE UNIDAD

El disparo de unidad es la función más importante dentro del control de quemadores desde el punto de vista del control en general, ya que un mal manejo de un disparo puede provocar

incluso la destrucción de la caldera. Es importante entonces detectar adecuadamente cual es la causa del disparo y realizar las operaciones en la forma adecuada.

A continuación se describirá las causas del disparo de unidad y cuales son las secuencias a seguir. En estas descripciones se hablará de la sección frontal siendo idénticas las secuencias de la sección trasera.

Un disparo de unidad puede ser provocado por cualquiera de las siguientes causas:

- 1.- Disparo ventilador de tiro forzado este y oeste.
- 2.- Flujo de aceite mayor que flujo de aire.
- 3.- Nivel del domo bajo, después de tres segundos.
- 4.- No hay flama en el hogar y tiempo de postpurga terminado.
- 5.- Disparo de turbina.
- 6.- Botón manual disparo de caldera operado.
- 7.- Pérdida de 120 V CA en control de combustión.
- 8.- Pérdida de 24 V CD en control de combustión.
- 9.- Nivel del domo alto.

Cualquiera de estos permisivos ocasiona que desaparezca la señal de "ningún disparo presente", posteriormente si se encuentra presente la señal de armar circuito disparo de caldera entonces se genera la señal de disparo de unidad la

cual implementa inmediatamente las siguientes acciones:

- 1.- Abrir todos los registros de aire.
- 2.- Cambio de flujo de aire de combustión al 25%.
- 3.- Parar bomba este, oeste y central de aceite combustible.

La señal de disparo de unidad también provoca disparo en las secciones de manejo de combustibles. A continuación se describirán estos disparos.

DISPARO GAS A PILOTOS FRONTALES

Un disparo de unidad provoca el cierre inmediato de la válvula de gas a pilotos principal frontal así como la apertura de la válvula de venteo de gas a pilotos frontal. Este mismo disparo de la sección puede ser provocado por una baja presión en el cabezal frontal de gas a pilotos.

DISPARO GAS A QUEMADORES FRONTALES

El disparo de la sección de gas a quemadores es otra de las acciones que implementa el disparo de unidad. Las acciones a realizar son: el cierre de la válvula principal de gas a cabezal frontal y la apertura de la válvula de venteo de gas a quemadores frontales. Estas mismas acciones pueden ser implementadas por cualquiera de los siguientes permisivos:

- 1.- Todas las válvulas de quemadores de gas frontales

cerradas.

- 2.- Aceite seleccionado.
- 3.- Presión de gas en el cabezal frontal baja, con retardo de 2 segundos.
- 4.- Cerrar válvula de gas principal frontal.

DISPARO ACEITE A QUEMADORES FRONTALES

El disparo de la sección de aceite a quemadores se implementa mediante la señal de disparo y bajo la supervisión de la señal de válvula aceite principal frontal abierta. Si estas dos condiciones se cumplen, entonces se ordena el cierre de la válvula de aceite principal frontal y la apertura de la válvula de recirculación de aceite frontal. En este caso la válvula de recirculación también puede ser abierta mediante un botón directamente y el permisivo para abrir dicha válvula.

Además de la señal de disparo de caldera existen otros permisos que causan las mismas reacciones del sistema. Estas son:

- 1.- Todas las válvulas de aceite a quemadores frontales cerradas.
- 2.- Gas seleccionado.
- 3.- Presión de aceite cabezal frontal baja.
- 4.- Presión vapor de atomización cabezal frontal baja.
- 5.- Cerrar válvula aceite principal frontal.

FUNCIONES ESPECIALES

Dentro del bloque de lógicas especiales se han incluido aquellas funciones que involucran a todos los quemadores. Estas funciones no fueron incluidas en las lógicas anteriores ya que, existen algunas funciones tanto en purga como en arranque y paro que requieren de señales provenientes de ellas y, sería necesario, repetir completamente enteros los bloques y esto equivaldría a anexar las lógicas especiales a cada una de las lógicas de purga arranque y paro. Entonces por facilidad se decidió formar un bloque con estas lógicas. A continuación se describen las funciones contenidas en este bloque.

DOS O MAS QUEMADORES FUNCIONANDO

Primeramente se aclarará que esta función únicamente es requerida cuando lo que se maneja es aceite. Ahora bien se determina que un quemador está trabajando cuando se cumplan las siguientes condiciones:

- 1.- Arranque quemador con aceite
- 2.- Flama quemador detectada.

Una vez que se cumplen las condiciones 1 y 2 se verifica si algún otro quemador está en operación, de ser así se envía la señal de dos o más quemadores trabajando. Este procedimiento es seguido tanto en la sección frontal como trasera.

ABRIR TODOS LOS REGISTROS DE AIRE

Para realizar esta operación debe cumplirse:

- 1.- No hay flama en el hogar.
- 2.- No hay comando cerrar registros de aire.

Si 1 y 2 se cumplen entonces mediante la pulsación de un botón se llevará a cabo la operación, los registros van desde 1F hasta 15R.

CERRAR TODOS LOS REGISTROS DE AIRE

Esta operación se realiza de igual forma que la apertura, lo único que cambia es la condición 2 que ahora será:

- 2.- No hay comando "abrir registros de aire".

ALGUN QUEMADOR OPERANDO

Para realizar esta operación se verifican las siguientes señales:

- 1.- Arranque quemador con aceite.
- 2.- Arranque quemador con gas.
- 3.- Flama quemador detectada.

Con la presencia de 1 ó 2 y con 3 se detecta el funcionamiento del quemador y se envía la señal. Lo mismo ocurre para cada uno de los quemadores.

NO HAY FLAMA EN EL HOGAR

En esta función se verifican las señales de no hay flama en quemador detectada desde 1F hasta 15R, si alguna no se cumple la señal no es generada.

ARRANQUE DEL PRIMER QUEMADOR SIN FLAMA EN EL HOGAR

Cuando se va a efectuar el arranque del primer quemador y aún no existe flama en el hogar, es importante que el quemador arranque dentro del tiempo de postpurga, el cual se empieza a contar a partir de que se intenta encender el primer quemador. Si en un lapso de tiempo de 30 segundos no se puede encender el primer quemador se envía la señal de tiempo de postpurga terminado y será necesario que la secuencia de arranque se efectúe desde el principio esto es iniciar la secuencia desde purga, reestablecimiento de combustible y arranque. Para que la señal de tiempo de postpurga se genere deberá cumplirse:

- 1.- Arranca primer quemador.
- 2.- No hay flama en el hogar.

Para obtener la señal de "arranque primer quemador" y "no hay flama en el hogar", es necesario que se presenten las siguientes señales:

- 1.- Arranque quemador con aceite.
- 2.- Arranque quemador con gas.

3.- No hay flama en quemador detectada.

Con 1 6 2 y necesariamente con 3 es posible generar la señal.

CERRAR VALVULA RECIRCULACION DE ACEITE (FRONTAL Y TRASERA)

Para poder determinar el cierre de la válvula de recirculación de aceite frontal es necesario que se presente cualquiera de las siguientes señales:

1.- Oprimir botón de cerrar válvula de recirculación de aceite frontal.

2.- Dos o más quemadores frontales funcionando.

De la misma manera ocurre para la sección trasera.

CERRAR VALVULA DE VENTEO DE GAS A PILOTOS FRONTALES

Para realizar la operación es necesario que se cumplan los siguientes permisos:

1.- Flama de piloto detectada.

2.- No hay prueba de piloto.

3.- Venteo de gas a pilotos frontales abierto.

No hay que olvidar que los dos primeros permisos pertenecen a un mismo piloto el cual puede ser desde el 1F hasta el 9P.

CERRAR VALVULA DE VENTEO DE GAS A QUEMADORES FRONTALES

Las operaciones de venteo tanto en pilotos como en quemadores se realizan para reestablecer una presión adecuada del gas en el cabezal correspondiente. En el caso de quemadores deben cumplirse las siguientes condiciones:

- 1.- Flama quemador detectada.
- 2.- Válvula de gas a quemador abierta.
- 3.- Venteo de gas a quemadores abiertos.

Con las tres condiciones es posible ordenar el cierre del venteo además de que cualquier quemador lo puede hacer desde el 1F hasta el 9F.

REGISTROS DE AIRE ABIERTOS (FRONTAL Y TRASERO)

Uno de cada par al menos, excluyendo el 5o. Esta función asegura que al menos un registro de aire de cada pareja (9F-4F, 7F-6F, 1F-3F, 2F-8F, 12R-13R, 11R-14R y 10R-15R) se encuentra abierto, para esto es necesario que se cumplan las siguientes condiciones:

- 1.- Registro de aire abierto 1F.
- 2.- Registro de aire abierto 3F.

Con 1 ó 2 se cumple la condición de la pareja y será necesario que cada pareja cumpla con la condición para enviar la señal.

BIBLIOGRAFIA

3

- COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.
GUIA DE DISEÑO PARA DIAGRAMAS LOGICOS
DE CONTROL DE SISTEMAS.
- CORSO, T.C. MICROPROCEROR -BASED BURNER MANAGEMENT-
FUNCTION AND FEATURES FOR THE 1980'S. ISA.
CHICAGO, ILLINOIS. N.S.A. 1979.
- FREDERICKS, P. REPLACEMENT OF ANALOG CONTROL SYSTEMS
BY MICROPROCESSOR BASED CONTROL SYSTEMS TO UTILITY
BOILERS. 1981.
- HANTOS, FRANCIS S. OPERATIONAL, SAFETY AND COST
BENEFITS CONTROL MODERNIZATION OF OLDER UTILITY
POWER PLANTS. NEW YORK, 1982.
- HOLMES AND NARVER, INC. METHODS TO GUIDE NEW PLANT
DESIGN. 1979.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS, DIVISION
DE ESTUDIOS DE INGENIERIA. CURSO DE CENTRALES
TERMoeLECTRICAS. MEXICO, AGOSTO DE 1986.
- PILLAI, N.R. AND CROSSLEY, L.E. APLICATIONS OF
MICROCOMPUTERS FOR CONTROL SYSTEMS. WASHINGTON,
D.C. U.S.A. 1984.
- REKER, J.A. AND HEINA, E.V. ECONOMIC AND SYSTEM
BENEFITS OF STEAM POWER PLANT CAPACITY INCREASES.
PROC. AMER POWER CONF. 1981.

- SIMEX. INTEGRACION DE SISTEMAS. CURSO CONCEPTO
DE I.C.A. MEXICO, 1985.