



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales

" ARAGON "

24
285

" APLICACIONES DEL CONTROL AUTOMATICO
EN PLANTAS TERMoeLECTRICAS "

FALLA DE ORIGEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICO

P R E S E N T A:

CONSTANTINO GARCIA ESCAMILLA

ENEP



ARAGON

SAN JUAN DE ARAGON, EDO. DE MEXICO

1995.



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.

FALLA DE ORIGEN
EN SU TOTALIDAD

Con todo mi amor y cariño para:

Alejandra, mi esposa

*Daniel y Beatriz,
mis hijos.*

*Con todo respeto y
agradacimientto
Para mis padres.*

CONTENIDO

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

CAPITULO I

DESCRIPCIÓN DE UNA PLANTA TERMOLÉCTRICA

1.1. Sistemas de combustión

1.2. Caldera y sus auxiliares.

- a). Tipos de calderas
- b). Accesorios de las calderas
- c). Válvulas de seguridad y de control
- d). Equipos para manejo de aire y gases de combustión
 - 1.- Chimeneas
 - 2.- Ventiladores de tiro forzado
 - 3.- Ventiladores de tiro inducido
- e). Bombas de alimentación
- f). Calentadores

1.3. Suministro de agua y sistemas de tratamiento.

- a). La importancia del agua y su tratamiento
- b). Torres de enfriamiento y sus auxiliares
- c). Condensadores y sus auxiliares.

1.4. Sistema del turbogenerador y sus auxiliares.

- a). Generador
- b). Turbinas de vapor
- c). Válvulas y mecanismos de las válvulas

1.5. Sistema eléctrico.

CAPITULO II

EL CONTROL AUTOMÁTICO

2.1. Sistemas de control.

- a). Controles de bucle abierta y bucle cerrada
- b). Controles continuos y discontinuos
- c). Diagramas de bloques
- d). Funciones de transferencia

2.2. Aplicación del control automatico.

- a). Modelos automáticos
- b). La realimentación y sus efectos
- c). Tipos de sistemas con realimentación

2.3. Componentes de los sistemas de control.

- a). Transductores
- b). Accionamiento de potencia
- c). Amplificadores

2.4. Control digital.

- a). Introducción - Control de lazo cerrado
- b). Estrategias del control digital
- c). Procesamiento de señales
- d). Muestreo
- e). Aplicaciones

CAPITULO III

VARIABLES DE CONTROL EN UNA TERMOELECTRICA

3.1. Temperatura.

3.2. Presión.

3.3. Flujos y niveles.

3.4. Velocidad.

3.5. Variables eléctricas.

3.6. Otras variables.

CAPITULO IV

APLICACIÓN DEL CONTROL AUTOMÁTICO EN TERMOELÉCTRICAS

4.1. Introducción.

4.2. La automatización y tipos de control.

a). Automatización

b). Niveles de automatización

4.3. Control de combustión.

4.4. Control de la temperatura de vapor.

4.5. Control de agua de alimentación.

4.6. Control de la velocidad.

4.7. Otros sistemas de control.

CAPITULO V

EL CONTROL AUTOMÁTICO MODERNO APLICADO A TERMOELÉCTRICAS.

5.1. Introducción.

5.2. Los microprocesadores.

5.3. Control de procesos en una termoelectrica.

5.4. PID o control de tres términos.

5.5. Controladores programables.

5.6. Control distribuido.

5.7. Simulación digital.

5.8. Control adaptable.

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

OBJETIVOS

El objetivo general, es proporcionar una metodología práctica y teórica del control automático usado en plantas termoeléctricas, así como conocer las tendencias actuales del control y su aplicación; implementandolo en plantas ya construidas para aumentar su vida útil y descender costos de mantenimiento.

Se planteará, primero, un esquema general de todos los sistemas que componen una termoeléctrica, la teoría del control automático, y una breve explicación de varios controles automáticos que se están aplicando. Después se hará una introducción de los controles automáticos modernos aplicados en plantas termoeléctricas y una posible modernización de los antiguos controles por unos más modernos digitalizados y computarizados.

Todo el proceso de una termoeléctrica se controla con mayor precisión, para dar una generación uniforme, mediante la aplicación del control automático. lo cual con frecuencia representa mayores ganancias. El control automático tiene también grandes ventajas en ciertas operaciones remotas, peligrosas y rutinarias.

Puesto que el beneficio del proceso, es por lo común, la ventaja más importante que se busca al aplicar el control automático en plantas de generación; la calidad del control y su costo se deben comparar con los beneficios económicos esperados y los objetivos técnicos de generación eléctrica. Los beneficios económicos incluyen la reducción de los costos de operación y mantenimiento, junto con la funcionabilidad del proceso de la planta y una mayor producción de la misma.

El control de una planta por computadora, forma parte de un tema más general, con perspectiva adecuada, y situar este control en un sistema más

amplio, del cual forma parte la planta.

El objetivo final del control por computadora, expresado en una forma extremadamente simplificada, es proporcionar lo que se pueda llamar un sistema automatizado. La implementación de este objetivo comprende computadoras de interconexión o secciones de computadoras a varios niveles de la organización en que está inserta la planta.

INTRODUCCIÓN

La generación de energía eléctrica en México, se hace aproximadamente en un 70% a través de plantas termoelectricas; esto hace que construyan y operen con el más moderno equipo. En este contexto, las plantas termoelectricas están entre las más automatizadas. Como las plantas comenzaron a crecer en tamaño y complejidad desde mucho antes, llegó a ser evidente que el monitoreo local y la regulación de los sistemas de la planta debería hacerse de una manera oportuna y rápida.

La alta disponibilidad de equipo, es necesaria para contener la creciente demanda de combustibles y altos costos de mantenimiento y operación. Aunque obviamente, los instrumentos y controles no son los mismos en todas las plantas, los problemas se han resuelto con un substancial incremento de sistemas de control automático e instrumentación sofisticados.

En esta investigación nos ocuparemos del control automático, asociado a los generadores de vapor que utilizan combustibles fósiles. Son la caldera y la turbina, acopladas para generar energía mecánica, para impulsar un alternador que está estrechamente acoplado a la red de suministro eléctrico. Estas son algunas de las razones del porque aplicaremos términos, conceptos y algoritmos que son usuales en ingenieros electricos; y daremos solución a los fenómenos inestables en la parte mecánica y eléctrica de las unidades de potencia. Como resultado no solo obtendremos una solución de los problemas planteados, sino seremos capaces de utilizar metodos que han sido desarrollados y sucesivamente usados en otras ramas de la ingeniería.

El control automático es aquel que se usa al operar un equipo y que

requiere de ajustes constantes, frecuentes e intermitentes. En las plantas termoelectricas, por medio del control automatico se conseguira supervisar la operacion continua, en lugar de intermitente y por lo general, puede detectar un cambio, asi como los ajustes necesarios muchos mas rapidamente que lo que un hombre podria hacerlo. Tambien es posible mantener la variable controlada mucho mas cercana al valor normal deseado, que si se usaran controles manuales.

CAPITULO I

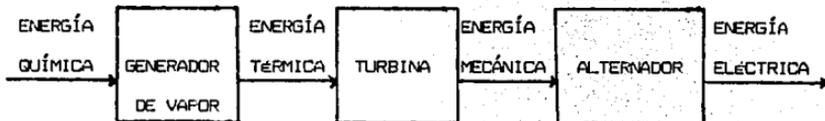
DESCRIPCIÓN DE UNA PLANTA TERMOELÉCTRICA

1.1. SISTEMAS DE COMBUSTIÓN.

Existen diferentes formas de clasificar las centrales termoeléctricas con turbinas de vapor, pudiendo ser de acuerdo a la forma de producir el vapor utilizado como fluido de trabajo. A este respecto, las centrales termoeléctricas de vapor permiten prácticamente el uso de todo tipo de fuente de calor hoy en día disponible, de manera que se tienen tres tipos principales de centrales termoeléctricas:

- Con combustibles tradicionales: sólidos, líquidos o gaseosos.
- Con combustibles nucleares.
- Con fuentes geotérmicas.

En la figura siguiente, se representa el esquema a bloques de las partes principales de una central termoeléctrica de vapor.



El principio fundamental de conversión de la energía en las centrales termoeléctricas es el siguiente: En el generador de vapor, la energía química contenida en el estado potencial del combustible se transforma en energía térmica por medio de un proceso químico exotérmico, comúnmente llamado combustión. Esta última energía, constituye la energía interna del vapor generado, el cual constituye el fluido activo que determina el accionamiento de la turbina; en ésta, la energía interna del vapor se transforma en energía mecánica que se aplica al alternador, que la transforma en energía eléctrica.

En términos generales todas las instalaciones termoeléctricas con turbina de vapor, son similares, por lo que se refiere a la turbina y al alternador, diferenciados a veces, de un tipo a otro, solo en lo que se refiere al generador de vapor, en función del tipo de combustible. En este capítulo, se describirá brevemente el bloque térmico de diferentes tipos de centrales, con referencia particular, a aquellas de combustible tradicional (que queman petróleo, carbón o gas). Una planta debe tener disponibles los tres tipos de combustibles y debe ser capaz de quemar todos simultáneamente. En donde se dispone de varios combustibles debe tenerse uno de reserva, ya que el suministro puede venir de diferentes combustibles.

Para recibir y almacenar el combustible se debe tener facilidades. El gas, necesita de un mínimo de equipo, pues se recibe de gasoducto y no se almacena en planta; las líneas y el equipo de medición son propiedad de la compañía que lo suministra, y deben estar bien drenados con separadores, para que el condensado no interfiera en el flujo de gas y vigiladas constantemente para un buen control de combustión.

Los aceites combustibles ligeros son almacenados y manejados con

facilidad, sin necesidad de calentarse; en cambio, los aceites pesados es necesario serpentines de vapor y calefacción en las líneas para mantener el combustible líquido. ES muy importante que el suministro de aceite a quemadores se haga sin interrupción, para que sea estable y sea posible mantener constante una buena combustión, pues en esta forma, es posible ajustar el aire necesario. La temperatura de aceite del tanque que alimenta las bombas que dan presión a los quemadores, deberá mantenerse a una temperatura adecuada, para que el aceite fluya libremente, pero no calentar excesivamente para evitar acumulación de gases; esto asegurará que las bombas a quemadores fluya el aceite con un flujo estable y máximo. Además, se incluyen calentadores y filtros, así como válvulas de regulación a quemadores; es necesario un control automático para regular el vapor a los calentadores con el objeto de mantener estable la temperatura.

El carbón, es el combustible sólido comúnmente usado en las plantas de vapor, aunque también puede usarse coque, carbón de petróleo o desperdicio de madera, si se pueden mantener a bajo costo. El equipo para manejar carbón y almacenarlo, comprende gran cantidad de aparatos que son difíciles de describir detalladamente, en su operación. Las condiciones de limpieza son importantes. Todos los puntos designados para lubricación deberán atenderse regularmente.

Los quemadores son de diversos tipos, en aquellos a presión de aire (particularmente adaptados para combustibles líquidos, muy densos), el líquido que se bombea a través de la instalación viene acompañado de aire recalentado y a presión. En otros quemadores se obtiene el mismo resultado comprimiendo por medios mecánicos el combustible a través de boquillas, esta solución se adapta por lo general para líquidos ligeros.

Los quemadores se encuentran generalmente dispuestos en los cuatro

FALLA DE ORIGEN

ángulos del generador de vapor, para poder imprimir una adecuada inyección a la flama y acentuar, de esta manera, una mezcla mejor de combustible y carburante; en algunos otros generadores de vapor se pueden inclinar los inyectores hacia arriba o hacia abajo, según sea la temperatura que se desea obtener de la zona del sobrecalentador.

1.2. CALDERAS Y SUS AUXILIARES.

El generador de vapor, también conocido como caldera; que tiene como principales componentes los siguientes: Las cámaras de combustión y el precalentamiento de aire, las instalaciones para desmineralización del agua, el precalentamiento del agua de alimentación, los sobrecalentadores de vapor y las válvulas, bombas y tuberías de interconexión y proceso.

Los generadores de vapor, actualmente usados en las centrales termoeléctricas modernas para producciones superiores de 50 a 100 toneladas de vapor por hora, son los de pequeño volumen de agua circulante en tuberías de pequeño diámetro. El vapor, generalmente, se genera bajo presión de acuerdo con las características de la máquina que alimenta; a mayores presiones y temperaturas, mayor será la eficiencia de la máquina que transformará el calor del vapor a energía mecánica.

a). TIPOS DE CALDERAS.

Debe tenerse una clasificación básica, considerando si son tubos de agua o gases, en otras palabras, las calderas pueden ser de tubos de agua o de humo. Las primeras se hallan en la mayoría de las plantas, pero aún existen calderas de tubo de humo que se usan para pequeños tamaños.

Otro diseño es la caldera llamada directa, es decir, el combustible se

quemada en el horno y los gases tienen una misma dirección en la chimenea.

En las calderas de tubo de agua, la división principal, está basada en que si los tubos son rectos, dispuestos en tubos ligeramente inclinados de la horizontal o de tubos curvos que van de domo a domo para formar la superficie de calefacción. Los de tubo van de un cabezal a otro cabezal. La circulación hacia abajo se efectúa pasando agua del domo al cabezal, en donde se encuentran rolados hacia el domo, el cual están conectados transversalmente al banco de tubos, por lo que se clasifican en tipo de domo transversal. En vez del tipo de domo transversal, son comunes calderas de uno, dos o tres domos longitudinales. En estos los cabezales forman parte del domo, que recibe directamente los tubos. En la medida que la presión aumenta, existen dificultades en la caldera de tubos rectos tanto en la unión de los tubos como en la circulación del agua. En el presente las calderas de tubos curvos con uno o dos domos superiores y un domo inferior es muy popular para caldera pequeñas y medianas.

La transmisión del calor de la flama a los tubos evaporadores se realiza por radiación y los diferentes tipos de generadores de vapor difieren entre ellos en base al tipo de circulación de agua, y con relación a esto se tiene la siguiente clasificación:

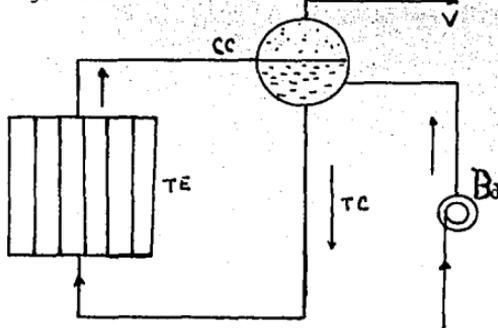
- Por circulación natural.
- Por circulación controlada.
- Por atravesamiento mecánico y presión supercrítica.

En este último tipo, a diferencia de los otros, en donde el calor producto de la combustión, al vaporizar el agua que circula en los tubos que se encuentran en las paredes de la cámara de combustión, y circula a una presión del orden de 163 bares en los tubos, que la transforman por efecto del calor, en vapor a temperaturas del orden de 565 °C; se dice

entonces, que el generador de vapor tiene un funcionamiento hipercrítico, cuando la temperatura y la presión de trabajo superan respectivamente los 374 °C y 225 Kg/cm², en estas condiciones la coexistencia de la fase líquida y de vapor saturado es prácticamente imposible, pero se tiene la generación directa de vapor seco sobrecalentado

En los generadores de vapor con circulación natural, el agua que proviene normalmente de un gran colector superior, denominado también "cuerpo cilíndrico" desciende por los tubos de caída no recalentada, alimenta los conductores de distribución inferiores derramándose por lo tanto en los tubos evaporadores, la mezcla de agua y vapor que así se forma sale del cuerpo cilíndrico favoreciendo la separación del vapor y el agua, los vapores pasan eventualmente al sobrecalentador, y de aquí a la turbina, en tanto el agua retorna en círculo. El movimiento del agua se asegura de la diferencia de peso específico entre el agua que sube y la mezcla agua-vapor que sale.

Si la diferencia de peso específico entre el agua y el vapor, no es suficiente para garantizar la necesaria velocidad de circulación, esta se debe activar con bombas opuestas. La circulación natural del agua en el generador de vapor se muestra en la siguiente figura:



CC = Colector superior,
cuerpo cilíndrico
o DOMO.

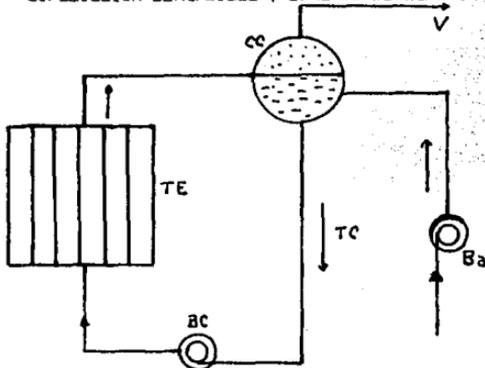
TC = Tubos de caída.

TE = Tubos evaporadores.

Ba = Bomba de alimentación.

V = Vapor para utilización

Como se indicó en el párrafo anterior, en el caso que la diferencia en el peso específico en el agua no fuera suficiente, como para garantizar la velocidad de circulación necesaria, entonces esta velocidad se activa con bombas de circulación y se tiene en este caso un "generador de vapor con circulación controlada", como se muestra en la siguiente figura:



CC = cuerpo cilíndrico.

TE = Tubos evaporadores.

T = Tubos de caída.

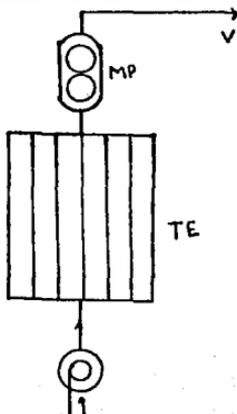
Ba = Bomba de alimentación.

BC = Bomba de circulación.

V = Vapor de utilización.

Este tipo de generador de vapor se emplea especialmente cuando la presión de operación es elevada, generalmente del orden de 180 Kg/cm², de hecho, con el aumento de la presión disminuye rápidamente la relación entre la densidad del agua y la de vapor, y la circulación natural en todos los tubos evaporadores resulta más difícil. Es ahora necesario el uso de una bomba, apta para garantizar una circulación activa del agua en la caldera, también durante las variaciones bruscas de la carga. Los generadores de vapor con circulación controlada a igualdad de potencialidad resultan más bajas, que aquellas de circulación natural y de menores dimensiones, teniendo tubos evaporadores de menor diámetro; esto permite también una mejor actitud a soportar variaciones rápidas de cargas y de notable magnitud, sin variaciones excesivas o inaceptables de las presiones y temperaturas de vapor.

En los generadores de vapor, con refuerzo mecánico y a presión hipercrítica, toda el agua que suministra la bomba de alimentación se vaporiza directa y totalmente en la primera etapa a través de los tubos evaporadores, y no se tiene por lo tanto ninguna circulación. El vapor producido, pasa entonces, por un medidor de valor nominal y de aquí al eventual sobrecalentador antes de ser utilizado en la turbina como se muestra:



MP = Medidor de valor nominal.

V = Vapor para utilización.

BA = Bomba de alimentación.

Estos generadores de vapor, son por lo tanto desprovistos de la bomba de circulación, estando la circulación misma activada por la bomba de alimentación, no existe entonces un cuerpo cilíndrico (domo) verdadero y propio, más bien un simple colector de vapor de dimensiones más reducidas. Dado el tipo particular de funcionamiento estos generadores de vapor son llamados también de "paso único" o monotubulares y presentan entre otros una mayor flexibilidad de operación dada la menor cantidad de agua en circulación.

b). ACCESORIOS DE LAS CALDERAS.

Los sobrecalentadores. Son de dos tipos principales: de convección y

radiación. La combinación de ambos tipos da característica plana a la curva de "vapor-temperatura". Los tipos de convección dan incremento de temperatura al aumentar la capacidad de la caldera; en cambio, en los de tipo de radiante, la curva tiende a caer. Los tipos de convección son más simples y menos caros, y por lo tanto, los más frecuentemente usados. En instalaciones de alta temperatura, en donde es necesario un alto nivel constante, este debe ser mantenido y se usa alguna forma de control para mantener la curva de característica uniforme.

Los sobrecalentadores también se clasifican en drenables y no drenables. Una gran superficie de calefacción, en un pequeño volumen, solo es posible colocando los elementos con varias vueltas paralelas. Cuando una caldera se enfría, el vapor se condensa en las vueltas del elemento. En climas en donde se alcanzan temperaturas de congelación, esto puede dañar a los elementos si no se conservan calientes. Cuando la caldera se enciende el agua puede evaporarse en algunos elementos, antes que en otros, esta agua puede ser drenable o no.

El economizador.- Se usa, frecuentemente, para precalentar el agua de alimentación, que entra a la caldera, reduciendo la temperatura de los gases que abandonan la caldera y para evitar esfuerzos, si el agua fría entra al horno. Los economizadores pueden ser vaporizantes o no vaporizantes. El agua es calentada en tal forma, que alcance temperaturas cercanas a la de ebullición, pero se hace de manera que el vapor formado, no produzca arrastres de agua ni espuma. Los economizadores están por lo general, dispuestos para que sean drenables. Se hace una caída de presión alta, para asegurar que el agua pase a través de todos los elementos. El flujo de gas, pasa a través del economizador hacia el calentador de aire o

colector de cenizas, ventilador de tiro inducido o chimenea.

Los precalentadores de aire.- Se usan para precalentar el aire y reducir la temperatura de los gases que salen de la caldera o economizador a un nivel económico. Se requiere relativamente gran superficie de calefacción, debido a la pobre transferencia de calor existente de gas a gas. Hay dos tipos principales el de superficie fija y el regenerativo.

c). VÁLVULAS DE SEGURIDAD Y DE CONTROL.

Las válvulas de seguridad, se ajustan generalmente para una presión igual a la máxima de diseño de la caldera. En donde existen más de una válvula de seguridad, la de mayor presión debe ajustarse al 3% sobre el diseño y las otras a intervalos de 1% a 2%, hacia abajo. Si hay sobrecalentador, una o varias válvulas de seguridad se instalarán en la salida del sobrecalentador, y en tal forma ajustadas para que escapen antes de las válvulas del domo, si la carga se pierde intespectivamente. El sobrecalentador, en estas condiciones, se enfriará por el vapor que está escapando hasta que el fuego pueda cortarse. Si el margen entre la presión de diseño de la caldera y la presión normal de la salida del sobrecalentador es pequeño, la válvula de seguridad del sobrecalentador, necesita únicamente ajustarse un ligero intervalo abajo de la válvula de presión más baja en el domo, que equivale aproximadamente a la mitad de la caída completa de la presión a través del sobrecalentador. Si la carga es únicamente perdida parcial, la válvula de más bajo ajuste del domo, escapará primero, pero el sobrecalentador aun estará pasando vapor a través de él, si toda la carga se pierde, la válvula del sobrecalentador operará primero. Si se instala una válvula eléctrica, debe ajustarse a la más baja

presión de las válvulas del sobrecalentador y será siempre la primera que opere. Este tipo de válvula, normalmente se instala de corte, para independizarla y pueda dársele mantenimiento sin parar la caldera.

Las válvulas operadas por control, pueden usarse para reducir la presión rápidamente, sin embargo los frecuentes requerimientos de operación pueden necesitar una reparación de la válvula que haga más deseable el método de parar y arrancar el fuego.

d). EQUIPOS PARA MANEJO DE AIRE Y GASES DE COMBUSTIÓN

Entre los auxiliares, esenciales para la preparación de la caldera nos encontramos con los equipos destinados al suministro de aire al horno y la evacuación de los gases, producto de la combustión. Estos equipos están representados por chimeneas, ductos, ventiladores para tiro forzado y tiro inducido.

1.- Chimeneas.- La chimenea, tiene por objeto, descargar los productos de la combustión a una elevación suficiente a fin de evitar, en lo posible, las molestias inherentes. Mientras para la extracción de los gases del horno, el tiro debe ser lo suficiente para mantener una ligera succión en el horno, cuando la caldera opere a pleno régimen, a no ser que esté diseñada para operar a baja presión. El diámetro de la chimenea y las dimensiones de los ductos que la conectan al horno, deben ser tales que aseguren el flujo de los gases, pero sin incurrir en velocidades excesivas.

2.- Ductos.- Los ductos de conexión entre la chimenea a la caldera ó a la descarga del ventilador de tiro inducido se tendrán con estanqueidad, adecuados soportes, juntas de expansión y especialmente, la correcta unión

en la chimenea y en la caldera; también las rejillas mariposas de los tiros operarán sin dificultades asegurando que cierran por completo y considerar las tolerancias para la dilatación a altas temperaturas.

3.- Ventilador de tiro inducido.- La extracción se realiza instalando entre el generador de vapor y la chimenea, un ventilador, que empuja a la chimenea una pequeña parte del producto de la combustión e inclusive aire, mediante una especie de inyector de humo (o de aire) que soplando, empuja a la columna de gases calientes y simultáneamente genera una aspiración de los conductos de los humos. La trayectoria se va alargando hacia la salida de manera que los humos disminuyen su velocidad.

4.- Ventilador de tiro forzado.- Se realiza con aire soplado, ya sea por medio de un ventilador o con un tiro de vapor (inyector) debajo de la rejilla, de esta manera, la conducción de humo se hace bajo presión y se evita la entrada del aire exterior.

También hay otros tipos de extractores como: el extractor de aspiración, que realiza la extracción del aire por medio de un ventilador que se localiza en la base de la salida de humos, y que aspira toda la cantidad de humos producido; se puede regular la cantidad extraída variando la velocidad del ventilador.

El extractor compensado; se realiza soplando el aire bajo la rejilla con un ventilador y aspirando con otro localizado en la base, el producto de la combustión. Se tendrá entonces presión bajo la rejilla y depresión en la base de la salida y existirá una zona de circulación de humos, donde la presión será nula. La regulación se realiza accionando sobre la velocidad del ventilador y sobre los controles de viento en el comportamiento de aire

bajo la rejilla de registro.

e). BOMBAS DE ALIMENTACIÓN.

Por alimentación al generador de vapor, se entiende el proceso mediante el cual se lleva a cabo hasta él, el traslado del agua de condensación, del descargado por la turbina, considerando integradas todas las pérdidas y dado la presión existente en el generador de vapor con relación al condensador; tal operación, se debe realizar por medio de bombas de alimentación adecuadas. Para los generadores de vapor con potencia limitada se usan bombas alternativas accionadas por motores eléctricos o bien de un cilindro de vapor directamente acoplado a la bomba; para los generadores de vapor de mayor tamaño, se prefiere usar en cambio, las bombas centrífugas de pasos múltiples en serie, accionadas por motor eléctrico o por una pequeña turbina de vapor, o bien, en algunos casos acoplada al turbogenerador principal.

La regulación de la cantidad de agua, en función de la carga de la turbina, se acciona o bien actuando la válvula localizada sobre la tubería de alimentación, o también, como ocurre comúnmente, variando la velocidad de rotación de la bomba, actuando sobre el motor que la comanda si es que el diseño lo permite (turbina o motor eléctrico a velocidad variable), en algunos caso también interponiendo uniones a velocidad variable del tipo electromagnético o hidráulico, en el caso de que los motores sean de velocidad constante.

El control de la cantidad de agua de alimentación, se deja por lo general a cargo de aparatos especiales que operan automáticamente, que deben ser extremadamente sensibles y listos para operar, especialmente en el caso de las calderas monotubulares, que no tienen cuerpo cilíndrico y

por lo tanto de separadores interpuestos entre la fase líquida y la de vapor.

f). CALENTADORES.

Calentadores cerrados de agua de alimentación.- Los calentadores de agua de alimentación de tipo cerrado, utilizan generalmente vapor que es extraído o descargado de las turbinas o máquinas de vapor para calentar el agua de alimentación, que va a la caldera. El agua de alimentación puede pasar una o mas veces a través del calentador. Algunas veces se usan seccionadores especiales o diafragmas a fin de utilizar el grado de sobrecalentamiento en el vapor para incrementar la temperatura de descarga del agua sobre la temperatura de saturación correspondiente a la presión de vapor. En algunas ocasiones los calentadores pueden equiparse con medios para enfriar el vapor condensado a una temperatura inferior a la de saturación del vapor, efecto del paso de agua fría por los tubos sumergidos en el condensador.

Calentadores deaeradores.- Los calentadores deaeradores son de tipo charola o de tipo regadera, son para proporcionar un venteo correcto; para esto, se instala generalmente un condensador auxiliar enfriando y condensando el vapor, que de otra manera, escaparía a la atmósfera. De este modo, aunque se ahorra en gran parte el calor de la mezcla vapor-aire, solo los gases no condensables se desperdician a la atmósfera.

El vapor usado para deaeración proviene del evaporador, o de cualquier otra fuente en la que el contenido de oxígeno y bióxido de carbono sea alto, es preferible introducirlo en la parte superior o salida del condensador de venteo. De este modo, si usamos un vapor de extracción de

una turbina, este podrá limpiar el agua deareada tanto como sea posible.

1.3. SUMINISTRO DE AGUA Y SISTEMA DE TRATAMIENTO

a). IMPORTANCIA DEL AGUA Y SU TRATAMIENTO.

El agua es un elemento muy importante en la producción de vapor y electricidad, por esta razón debe tenerse un gran cuidado en el diseño de la planta, construcción, arranque y operación. Los usos más importantes del agua en una planta de vapor incluye enfriamiento al condensador, repuesto a la caldera, enfriamiento a chumaceras, sistemas contra incendio, enfriamiento al aceite, hidrogeno ó aire al condensador y usos sanitarios. Cada uso requiere ciertas características: pero, en general, entre más pura y fría este mejor.

Dependiendo de la localización de la planta y los suministros disponibles, el agua de los ríos o corrientes, de lagos, de mar o de pozos puede usarse simple o en combinación para provisionar las necesidades de la planta; la cantidad y características del agua de suministro son factores importantes en la localización de la planta y en la determinación de las características del equipo.

Los requerimientos del agua condensada para los modernos turbogeneradores de alta presión, son usualmente de valores de uno o dos pies cúbicos por mil kilowatts de capacidad. El uso del ciclo con recalentamiento puede reducir el uso del agua aproximadamente un 10%. El agua que se pierde por evaporación purga continua y efecto de viento es aproximadamente el vapor que se condensa, se necesita tener el suficiente suministro.

Se usa un sistema de almacenamiento de agua para evitar quedarse sin

FALLA DE ORIGEN

..

suministro por falla en el bombeo, tubería o reparaciones necesarias. La forma de almacenamiento puede ser un tanque de acero o cemento, elevado al nivel del piso; pila, receptor de tierra o concreto o un lago.

Los sistemas de agua pueden clasificarse como: de un solo paso, recirculación en sistema cerrado, enfriamiento por evaporación o sistema abierto. Debido a la gran cantidad de agua que debe tratarse, no es económico aplicar mucho tratamiento a los sistemas de un solo paso. Los únicos justificables posiblemente sean separación superficial, filtración y clorinación intermitente. En los sistemas de agua de recirculación cerrada, donde el agua no está expuesta al aire o evaporación, la corrosión es su principal problema. Puede usarse varios productos químicos para que el agua no sea corrosiva a los materiales de que está construida el sistema. En los sistemas de recirculación abierta donde la operación es la que produce el enfriamiento, tanto la corrosión como la incrustación son problemas inherentes al sistema.

Existen buen número de procesos para corregir las características indeseables del agua suministrada. Algunos son simples, baratos de aplicar y requieren poca atención; en cambio otros requieren equipo costoso y productos químicos que requieren alto grado de habilidad en la operación. Separación, asentamiento o decantación, coagulación, aeración clorinación, suavización por calentamiento o tratamiento químico en reactores, destilación, cambiadores de iones; son los procesos usuales. Dependiendo de las características del agua de repuesto se usará o algunos de los procesos enumerados, en secuencia adecuada.

Las partes a presión de una caldera, que está expuesta a radiación por la alta temperatura del horno, debe ser continuo y perfectamente enfriado en su parte interna por el movimiento rápido del agua para evitar fallas.

Si el metal de la caldera se sobrecalienta, su resistencia será reducida y la rotura puede ocurrir debido al esfuerzo a que se encuentra sometida. Si existe acumulación de incrustación en las superficies internas del metal, esto actúa como un aislante, y el agua o vapor no pueden llevar el calor que esta recibiendo por las superficies internas del metal, esto actúa como un aislante, y el agua o vapor no pueden llevar el calor que esta recibiendo por las superficies externas del metal de los tubos de las calderas o domos. El incremento de la temperatura produce fallas en el metal, lo que ocurrirá mas pronto o mas tarde. El agua de la caldera por consiguiente debe estar acondicionada para que no deje depositos en la superficie. Los requerimientos es que el tratamiento deba proteger contra la corrosión de la caldera en sus partes internas, y tambien evitar la cristalización del metal de ella. A medida que la presión de las calderas se incrementa, la necesidad para obtener un buen tratamiento es hace imprescindible.

b). TORRES DE ENFRIAMIENTO.

Cuando no se dispone de un río de suficiente caudal o de alguna otra fuente de agua para los servicios de enfriamiento y condensación de una planta de fuerza térmica, puede usarse una torre o pila de enfriamiento para enfriar el agua usada en la planta a fin de que pueda usarse de nuevo. Mediante esto se reducen las necesidades de agua una cantidad relativamente pequeña, generalmente entre un 1% a un 5% del total del agua circulada, cantidad que se conoce como agua de repuesto y que se necesita para cubrir las pérdidas ocasionadas por evaporación, rocío y puigas. De este modo es posible, mediante la utilización de pozos o arroyos, suministrar el agua de repuesto, e instalar la planta en una localidad

donde todos los demás factores fueran favorables pero existiera una deficiencia de agua para enfriamiento.

Existen diferentes tipos de torres de enfriamiento resultante de los varios sistemas usados para forzar el aire a moverse horizontalmente y mezclarlo con el agua a fin de enfriarla. En lo que respecta al flujo de aire, las torres se clasifican como de tiro natural, tiro forzado y tiro inducido. En general se obliga al aire a moverse horizontalmente o hacia arriba en descolazamiento relativamente mayores a la caída del agua removiendo de esta su calor. A fin de que el calor sea intercambiado con eficiencia, el flujo de agua debe descomponerse en gotas pequeñas para aumentar la superficie de contacto. Para lograr esto se usan rociadores, pantallas, cascadas y otros arreglos.

La localización de una torre de enfriamiento especialmente en tamaños mayores, implica la solución de varios problemas debido a la necesidad de un gran flujo de aire, que arrastre el vapor de agua así como las finas gotas formadas.

El tipo de torre de enfriamiento más popular para instalaciones de gran tamaño en la actualidad, es el de tiro inducido. Grandes abanicos con ejes verticales colocados en la parte superior de la torre succionan aire por ambos lados de esta: el aire caliente, después de fluir en contracorriente al agua que desciende, es descargado hacia arriba por los abanicos a una velocidad considerable impulsando el aire a una altura tal que dificulta la recirculación. Este tipo de torre, especialmente si es del tipo de flujo lateral puede construirse relativamente ancha y baja, disminuyendo así la energía requerida para el bombeo de agua a las partes altas de la torre.

Las torres de enfriamiento de tiro forzado están generalmente dotadas de un ventilador con eje horizontal en un lado de la torre el cual descarga

aire hacia atrás. El flujo del aire es dirigido después hacia arriba por medio de mamparas, haciéndolo pasar a través de corriente descendente del agua, después de los cuales es descargado por la parte superior a través de un sistema que elimina el rocío. Ya que la totalidad de la superficie de la parte superior de la torre es usada para la descarga del aire, la velocidad del aire de salida es más baja que las velocidades de descarga de las torres de tiro inducido.

Las torres de tiro natural ocupan un volumen mayor a igualdad de capacidad de enfriamiento que las torres de tiro inducido o forzado; esto se debe a que las velocidades del aire son frecuentemente bajas y a que la dirección del viento es variable. Debido a que los pasajes o conductos por los que pasa el aire deben diseñarse lo más abiertos y libres de obstrucciones posibles para facilitar la circulación, el rocío arrastrado por vientos más fuertes, pueden ser considerables y aún molesto cuando los vientos sean de mayor de mayor intensidad. Las torres más pequeñas son por lo general de forma más o menos cuadrangular. Las torres mayores conservan, por lo menos una sección angosta y son ampliadas incrementando la altura y la longitud, orientándose de modo tal que gran superficie lateral se vea expuesta a los vientos dominantes.

La cantidad de aire circulando a través de una torre y el modo en el cual se pone en contacto con el agua que se enfría determinan el grado de eficiencia del enfriamiento.

El flujo del agua de enfriamiento sobre una torre de enfriamiento debe estar uniformemente distribuido, haciendo que la corriente de agua se fraccione en pequeñas gotas y que el tiempo de caída a través de la torre se prolongue tanto como sea posible; es conveniente también que el área mojada de la torre sea grande.

Las torres de enfriamiento diseñadas para un cierto flujo de agua tienen, por lo general, un margen pequeño de capacidad para manejar un exceso de agua, pero a partir del punto en que las secciones se inundan por completo, o se inicia el derrame por los canales, o el flujo de aire disminuye, el rendimiento de la torre declina. Con flujo de agua reducido, el rendimiento de la torre se incrementa generalmente, aunque la energía usada por los ventiladores llega a ser insistentemente mayor por unidad de agua enfriada.

c). CONDENSADORES Y SUS AUXILIARES.

La razón de usar condensadores en las plantas de fuerza es que, al hacerlo, mejora la eficiencia de la planta. La eficiencia teórica posible, en el ciclo de vapor, depende en su mayor parte en el rango de presiones a través del cual el vapor se expande. Por lo tanto, una gran parte del gasto al instalar los condensadores, bombas, sistemas de agua de circulación, etc.: están justificados, ya que permiten que el vapor sea expandido completamente como sea posible. Hay dos tipos básicos de aparatos condensadores usados en plantas de fuerza con el fin de condensar el vapor descargado por las turbinas o por máquinas de vapor; los dos tipos son: el de superficie y el de contacto directo. El condensador tipo de superficie se usa en su gran mayoría de instalaciones de turbinas y particularmente en plantas en donde las necesidades de agua de reemplazo en el ciclo son pequeñas. De este modo la misma agua puede ser usada una y otra vez y el sistema de agua-vapor se puede mantener limpio y libre de suciedades y oxígeno.

Cuando el vapor es descargado de una máquina de vapor es muy probable que este contaminado, por lo que se un condensador del tipo de contacto

FALLA DE ORIGEN

directo, en el cual se mezclan el vapor y el agua de condensación sin que se vuelvan usar. Con un buen sistema para la extracción del aire es posible que la cantidad de agua requerida sea menor que si se usara un condensador de superficie y los gastos de operación y mantenimiento sean menores. Sin embargo, por lo general, es posible mantener un mejor vacío en unidades del tipo de superficie y el condensado puro suministrado es de gran ayuda para suministrar el agua de alimentación para unidades de alta a presión y temperatura.

En los condensadores de superficie se usan tubos rectos para facilitar la limpieza y reemplazo. La selección del tubo indicado está principalmente determinado por la erosión, vibración, más que por las presiones supercríticas deben estar completamente libres de fugas y como resultado de nuevas técnicas de soldadura es posible soldar los tubos a las placas, asegurándose una junta a prueba de fugas.

El efecto de la expansión de la turbina, cuello del condensador y condensador bajo diferentes temperaturas deberá ser previsto y considerado; para este fin se instalan una o más juntas de expansión en el cuello del condensador.

Si el agua es forzada hasta la cima de una torre de enfriamiento, se pondrá una carga más bien alta en el condensador y ductos de agua de circulación. Además las bombas de circulación son generalmente de tipo horizontal o de tipo vertical.

Generalmente se instalan una o más rejillas de alambre grueso antes de las bombas de circulación para protegerlas contra objetos móviles flotantes o sumergidos que podrían dañarlas.

El pozo caliente de un condensador ofrece espacio para que se acumule el vapor condensado que gotea de los tubos del condensador. Si éste es del

tipo deareador, el condensado que llega al condensador se hace pasar a través de una serie de compuertas de perfil triangular o de placas perforadas donde el flujo de agua se fracciona.

A fin de evitar que la superficie de condensación se vieran aisladas por una capa de gases, es necesario equipar el condensador de algún medio que sirva para remover continuamente los gases no condensables junto con el vapor, evitar que dichos gases cubran y aislen la superficie de los tubos haciendo que la presión del gas dentro del condensador sea hasta el máximo posible, la causada por la presión del vapor de agua unidamente.

Las bombas para extraer el condensado debe ser de un tipo especial que requiera de una carga de succión escasa, ya que debe manejar un líquido que está muy cercano a la temperatura de evaporación.

1.4. SISTEMA DEL TURBOGENERADOR Y SUS AUXILIARES.

a). GENERADOR.

El generador eléctrico es la parte más importante del equipo de una planta termoeléctrica ya que es el que genera la energía eléctrica que es el objeto para lo cual la planta fue construida. Todas las demás partes del equipo en la planta, tienen por objeto la operación del generador.

Los generadores eléctricos pueden tomar un número infinito de formas y muchos dispositivos pueden usarse para completar los requerimiento básicos de la generación de electricidad, esto es: Una o más vueltas de alambre en forma de bobina y que cortan un campo magnético, producirán energía eléctrica. La forma más comúnmente usada en los grupos modernos es una máquina horizontal con campo rotativo y estacionaras las bobinas de la armadura. La corriente generada es alterna y el voltaje varía desde 110 a

20 000 volts. La frecuencia es de 60 ciclos por segundo. Los generadores de corriente alterna se construyen, para generar corrientes trifásicas, el voltaje de corriente en los tres embobinados están 120° eléctricos de desfaseamiento uno de otro.

El campo magnético para un generador de corriente alterna se forma debido al paso de una corriente directa a través de un embobinado. Se requiere por lo tanto, un suministro de corriente directa el cual es ordinariamente un excitador.

En un generador eléctrico gran parte de lo que se genera, se disipa en calor. La corriente y resistencia (IR) que representa las pérdidas en campo y bobina de armadura, más el calor generado en la laminación del estator como resultado de la rápida alternación del campo magnético, más la fricción del viento, más el calor proveniente de las chumaceras dan un total bastante considerable; debe proveerse de un medio para disipar el calor y evitar temperaturas excesivas en el generador. Algunas unidades usan la circulación del aire; los generadores de mayor tamaño y más modernos usan hidrógeno para enfriamiento en vez de aire en circuito de enfriamiento cerrado.

b). TURBINA DE VAPOR.

Se puede decir que la máquina alternativa de vapor representa el tipo de máquina térmica más antigua que apareció en los 1700, no obstante, esta máquina constituye el antecedente de aquellas usadas como turbinas de vapor en las centrales termoeléctricas convencionales. Las turbinas de vapor representan el tipo de primo-motor usado exclusivamente para el accionamiento de las centrales termoeléctricas.

En general las turbinas de vapor con sus accesorios están constituidas

principalmente por la turbina de vapor, los sistemas de regulacion, las valvulas de alimentacion, condensadores y bombas de extraccion del agua de condensación.

El vapor sobrecalentado que proviene de la caldera actúa primero sobre la sección de alta presión (AP) de la turbina de donde va al recalentador y de aquí a la sección de media presión (MP), de aquí continua a la sección de baja presión para llegar, finalmente al condensador en donde cede al agua de enfriamiento el calor de condensación que viene así del ciclo y es disipado. Del condensador se extrae el agua condensada con una bomba, y la misma agua, previamente precalentada se regresa al generador de vapor por medio de la bomba de alimentación. (ver figura).

En general se puede decir que para potencias considerables en la practica se adopta la disposicion de turbina denominada de dos bloques, con esta disposicion el vapor que sale de la caldera recorre toda una serie de turbinas alta, media y baja presión que puede accionarse para dos alternadores distintos.

El rendimiento de la turbina aumenta en general al aumentar la velocidad, teniendo para una frecuencia de 60 Hz. un valor limite de 3 600 RPM, que puede ser menor (de la mitad) dependiendo si son de dos o cuatro polos.

La circulación de vapor en la turbina es preferentemente axial y según la forma en que actúa el vapor sobre las paletas. la turbina puede ser de tipo de acción o de reacción.

Como se ha observado, en la turbina de vapor el salto térmico total que existe entre la entrada y la salida del vapor se subdivide en más saltos. en cada uno de los cuales se hace mantener la velocidad periférica de las paletas dentro de sus límites correspondiendo a las condiciones de máximo

rendimiento.

Las turbinas de mediana y gran potencia estan por lo general constituidas de una primera serie de ruedas de acción que emplean un primer salto y presión notable, de manera que la entrada de la serie sucesiva de ruedas a reacción, el vapor tenga una presión suficientemente reducida para permitir una limitación conveniente de los espesores de las partes de mayores rendimiento.

Constructivamente la serie de ruedas a reacción esta compuesta de tres elementos separados denominados "cilindro", "cuerpo" y "rueda" respectivamente de alta, media y baja presión.

Clasificación de las turbinas de vapor.- Las turbinas de vapor presentan una notable analogía con las turbinas hidráulicas, ya que también un elemento fijo llamado distribuidor y otro móvil llamado girante. El distribuidor sirve para transformar total o parcialmente la energía térmica disponible del vapor en energía cinética y conducir el vapor a la corona con paletas llamada girante o elemento giratorio, que transforma la energía cinética en energía mecánica.

En forma semejante a las turbinas hidráulicas, también las turbinas de vapor se pueden clasificar en función de la manera en como se hace la transformación de la energía térmica que tiene el vapor, en energía mecánica útil.

Desde este punto de vista se pueden considerar dos tipos fundamentales de turbinas de vapor:

a). Turbinas de acción.- En las cuales el salto de presión y por lo tanto la caída termodinámica se transforma completamente en energía

cinética en el distribuidor, ya que el trabajo se transforma todo en velocidad. Esta transformación se realiza en la parte rotatoria.

b) Turbina de reacción.- Son aquellas en las cuales parte de la caída termodinámica se transforma en energía cinética en el distribuidor en tanto que la parte restante se transforma a lo largo de las paletas del elemento girante, es estas se tiene una doble transformación de la energía térmica residual en energía cinética y de ésta en energía mecánica en el árbol de la máquina.

Existen también turbinas mixtas que son turbinas múltiples formadas de más elementos giratorios, parte trabajando a acción y parte a reacción.

c). VÁLVULAS Y MECANISMOS DE LAS VÁLVULAS.

En virtud de que la turbina puede incrementar rápidamente su velocidad si no se reduce el flujo de vapor al quitar la carga. Pueden alcanzar velocidades que desintegran la turbina. Es esencial primordialmente alguna válvula de corte, la cual cierra automáticamente y corta el vapor a la turbina si se alcanza el límite de sobrevelocidad, usualmente 10% sobre la velocidad normal. En turbinas pequeñas esta válvula puede combinar las funciones de válvula y gobernador lo que regula el vapor en los cambios de carga y mantener la velocidad constante. Tiene conexión mecánica directa del dispositivo de gobierno y del disparo por sobrevelocidad. En máquinas grandes las dos funciones se separan y se instalan válvulas de corte separadas. El dispositivo de sobrevelocidad puede actuar mecánicamente, pero en las unidades de mayor tamaño la válvula opera por presión de aceite. En unidades de tamaño intermedio, la válvula de corte se puede usar para controlar el flujo de vapor durante el arranque y levantar la

velocidad hasta la de operación.

En unidades de tamaño intermedio y gran capacidad se utiliza un mecanismo de control de carga el cual opera por medio de válvulas piloto y relevadores de aceite, así como cilindro y pistón del regulador de velocidad de la turbina. En donde se usa control múltiple a las válvulas, pueden operarse separadamente por medio de un árbol de levas que se mueve por la acción de mecanismo hidráulico de control de velocidad.

En pequeñas turbinas una sola válvula de control alimenta a un grupo de toberas que van en la periferia de la rueda del primer paso. Con frecuencia es posible cortar algunas toberas por medio de un volante para operar manualmente y solo se abre cuando se llevan cargas altas. Esto da mejor eficiencia en bajas y altas cargas. En grandes turbinas algunas veces se usa un dispositivo similar en el mecanismo de control hidráulico en donde la válvula principal de regulación alimenta con vapor a las toberas para llevar carga normal y en caso de cargas mayores se abre válvula o válvulas alimenta un grupo separado de toberas a través de pasajes de vapor separados.

Turbinas de extracción controladas necesitan válvulas de gobierno adicionales para mantener constantes la presión de extracción dentro de ciertos límites por variaciones de carga o requerimientos de vapor.

d). EXCITADORES.

El suministro de corriente continua para excitación del campo del generador principal es asegurado por lo general, por medio de un generador de corriente continua montado en una extensión del eje del generador principal. Por medio de anillos colectores equipados con escobillas de carbón se conduce la electricidad del excitador a las bobinas en rotación

del campo principal. La fuerza del campo principal deberá cambiar de acuerdo con la carga del generador y las necesidades del voltaje, esto se puede conseguir por medio de réstato variable instalado en el circuito del campo principal, por lo general, se utiliza un réstato más pequeño instalado en el circuito del campo del excitador para incrementar o disminuir el voltaje del excitador, lo que a la vez hace variar la fuerza del campo principal del excitador.

Se requiere un campo menos fuerte para mantener el voltaje del generador de acuerdo con el sistema, a bajas cargas que a carga total. Si, repentinamente se aplica un aumento de carga a un generador que se halle en operación deberá aumentar el campo de inmediato, si no la unidad puede salir del sincronismo. Debido a que el aumento del campo no se puede efectuar con la rapidez requerida usando medios manuales, se usan reguladores de voltaje, los cuales cortan el circuito una parte a toda la resistencia del campo en el grado que se necesite, regulando así automáticamente el voltaje del generador.

Un desarrollo muy reciente que tiene por objeto eliminar el conmutador y otras partes móviles consiste en usar la corriente alterna de un inductor de iman permanente montado en un extremo del generador y rectificar la corriente alterna así producida por medio de un rectificador de selenio.

1.5. SISTEMA ELÉCTRICO.

En el desarrollo anterior se han expuesto principalmente las consideraciones de carácter general de las centrales termoeléctricas, con especial referencia a los aspectos de tipo mecánico.

El objetivo principal de esta parte del capítulo es el de tratar las

generalidades de la parte eléctrica de las centrales y la parte eléctrica del sistema como son las subestaciones y las líneas de transmisión.

El caso más general de las centrales eléctricas es aquel en que la energía que se produce se debe utilizar en una zona situada a una distancia considerable, por lo que la central se debe interconectar por medio de líneas de transmisión. Por razones de economía, el transporte de la potencia generada requiere del empleo de tensiones elevadas y valores convenientes de acuerdo a la potencia por transmitir y la distancia a la cual se debe hacer, esto requiere del uso de los transformadores, que como se sabe son dispositivos o máquinas eléctricas estáticas, que transforman la tensión, sin cambiar las características de la potencia, que transfieren de un circuito a otro.

Por otra parte las centrales eléctricas se encuentran generalmente conectadas en paralelo entre sí por medio de las líneas de transmisión, constituyendo de esta manera lo que se conoce como la red interconectada. Las tensiones de transmisión usadas en México son: 69, 115, 230 y 400 KV preferentemente; por su parte las tensiones de generación se encuentran comprendidas entre 6 y 30 KV, teniendo valores de 13.8, 15, 20 y 30-KV en algunas centrales generadoras.

Por lo general se pone una consideración especial a la selección del número de unidades generadoras de lo cual depende en buena parte la distribución de la central misma.

En la construcción de las centrales modernas la tendencia es, por razones de costo, a limitar el número de unidades hasta un mínimo que en ocasiones podría ser uno en el caso de que no se sienta la necesidad de reserva en la central de que se trate debido a que la interconexión existente entre la central y el resto de la red reduce la potencia de una

FALLA DE ORIGEN

central a una pequeña fracción del total que se maneja en la red, y por lo cual la falta de una unidad o eventualmente de una central se puede compensar fácilmente por las otras centrales del sistema. De hecho en cada central existe una unidad de reserva que opera con carga baja y que se puede improvisar para cubrir el defecto que existe en el suministro debido a la falla de alguna central.

La potencia suministrada por los alternadores se transforma en tensión por medio de los transformadores a través del sistema en barras colectoras que están conectadas por un lado a las terminales de los generadores y por otro al primario de los transformadores. Estrictamente hablando se podría decir entonces que la potencia y el número de transformadores son independientes del número de alternadores.

Por lo general la tendencia es de asignar a cada unidad generadora un generador (conexión a unidad o bloque) de la misma potencia. La central resulta entonces compuesta de un cierto número de grupos cada uno formado por la turbina, el generador y el transformador lo que hace que las barras colectoras entre el generador y el primario del transformador no sean muy necesarias, que algunas veces se eliminan por simplicidad y se disponen entonces uno o más sistemas de barras entre el secundario de los transformadores y los puntos de salida de las líneas de transmisión.

En una forma general los circuitos eléctricos de una central se pueden clasificar como primarios o secundarios. Los primarios se han descrito antes, son los que conectan las terminales del generador a las líneas de transmisión a través del transformador y sistema de barras incluyendo desde luego el equipo complementario como son los interruptores, cuchillas desconectoras, transformadores de instrumento, etc.. Los circuitos secundarios en cambio, comprenden todos los otros circuitos necesarios para

el funcionamiento de la central y pueden ser más o menos numerosos según sea la importancia de la central. Estos circuitos alimentan a todo lo que se conoce como los llamados servicios auxiliares.

Es decir los circuitos secundarios están representados por los circuitos de excitación, de sincronización, de los relevadores, de medición, de señalización y de protección, de fuerza para alumbrado, bombas de alimentación, etc..

Los circuitos principales y secundarios dentro de su complejo tiene la función de mantener el funcionamiento de la central en una forma simple y segura de manera tal que todo sea controlado desde la llamada sala de control en donde se instala el tablero general de control así como los diferentes tableros auxiliares, y desde donde se puede hacer maniobras para el funcionamiento de la central.

El esquema de las conexiones para las instalaciones eléctricas constituye de hecho la base para el proyecto ya que de este esquema se deriva la selección e instalación de los equipos de maniobra y desconexión, así como la medición y protección; como se mencionó se constituye el esquema por las siguientes instalaciones:

- a).- Instalaciones eléctricas principales.
- b).- Instalaciones eléctricas para la alimentación de los servicios auxiliares
- c).- Conexiones para la alimentación del sistema de excitación.
- d).- Instalaciones eléctricas para la alimentación de los elementos de control y maniobra.
- e).- Conexiones e instalaciones para la alimentación de los transformadores de potencial y corriente, así como los instrumentos de medición.

En las instalaciones eléctricas primarias se debe tratar de obtener siempre una flexibilidad adecuada por lo que la disposición de las conexiones de las unidades generadoras y transformadores de potencia dependerá de estar en función del tipo de servicio que prestara la central dentro del sistema, tratando de obtener seguridad y flexibilidad en la operación de manera tal que cumpla entre otros con los siguientes requisitos:

- 1.- Bajo costo.
- 2.- Segura en su operación y con una baja probabilidad de falla.
- 3.- Simple en su operación en condiciones normales y de emergencia.

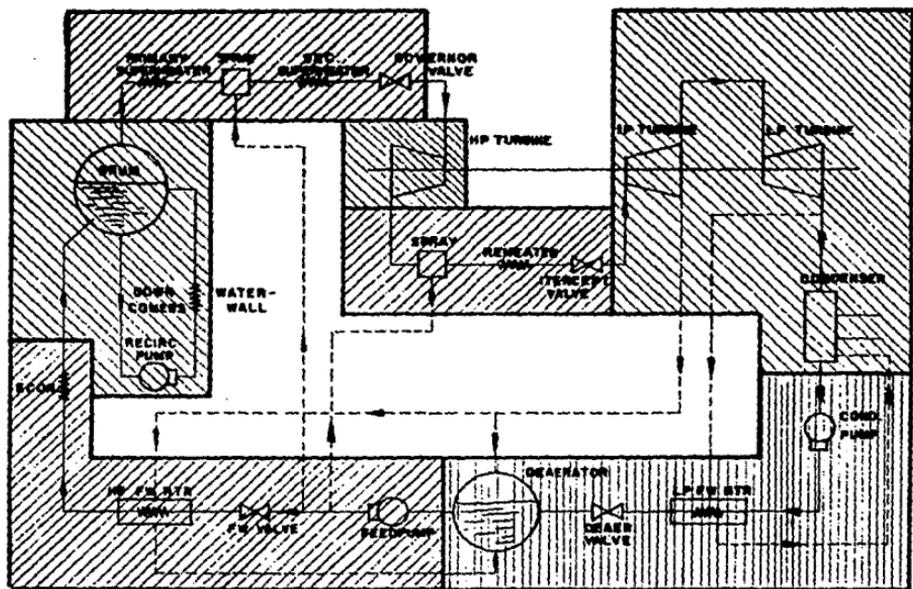


DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UNA PLANTA TERMoeLECTRICA

CAPITULO II

EL CONTROL AUTOMÁTICO

2.1. SISTEMAS DE CONTROL.

El control automático desempeña un papel de una importancia en constante aumento en la mayoría de los aspectos de nuestra vida moderna. Desde los familiares aparatos de uso doméstico hasta los sofisticados sistemas de control para la generación de potencia y la exploración espacial; el control automático está en nuestra vida diaria.

En cierto sentido, el advenimiento del control automático representa una segunda revolución industrial. La primera revolución industrial del siglo diecinueve puso a disposición del hombre mayores cantidades de potencia. Las potencias del viento y del agua fueron largamente por la fuerza del vapor.

Los combustibles, incluidos el carbón, el gas, el petróleo y sus derivados resultaron ser las principales fuentes primarias de energía para la industria y el transporte. La forma en que la energía ha intervenido en mayor parte en el desarrollo industrial es la eléctrica, y es previsible que continúe siendo así, con la conversión de la energía nuclear en eléctrica.

Para emplear la potencia con eficacia, ha sido necesario aprender a controlarla y regirla. En el siglo veinte la revolución industrial se ha caracterizado por la habilidad que para ello ha adquirido el hombre. Al disponer de potencia y de medios para el control, mucho trabajo físico y

mental puede ahorrarse ahora mediante máquinas con mejores resultados que los que habría sido posible de otra forma.

Frecuentemente, los sistemas de control emplean componentes de muchos tipos, incluidos los mecánicos, eléctricos, electrónicos, neumáticos y la combinación entre ellos. El control automático constituye una disciplina variable que extrae conocimientos de muy distintas ramas del saber. Su estudio puede resultar beneficioso al reunir unos temas que se han considerado por separado y aplicarlos a un problema común.

a). CONTROLES DE LAZO ABIERTO Y LAZO CERRADO.

La palabra control tiene varios significados afines, tales como mando, gobierno, dirección y regulación. Un sistema de control ha de considerarse como un grupo de componentes físicos dispuestos para dirigir el flujo de energía a una máquina o a un proceso de forma que se consiga el resultado apetecido.

La palabra automático indica una actuación propia; un sistema de control automático es un sistema de control que actúa por sí mismo.

Se distinguen dos importantes grupos de sistemas de control, sean automáticos o de otra naturaleza, que son: los que trabajan en lazo abierto o en lazo cerrado. Puede decirse que cuando la cantidad de salida no tiene efecto sobre la cantidad de entrada, el control puede identificarse como un sistema de control de lazo abierto. Los sistemas en los que la salida tiene un efecto sobre la entrada, se denominan sistema de control de lazo cerrado o sistemas de control realimentado.

El empleo de una realimentación negativa en un sistema de control de lazo cerrado tiende a mantener un valor deseado de una cantidad o de una

condición, midiendo al valor existente, comparándolo con el valor deseado y empleando la diferencia como medio de iniciar la acción, de reducirla. El concepto de realimentación negativa es la base para el proyecto de un sistema de control automático.

b). CONTROLES CONTINUOS Y DISCONTINUOS.

Dentro de la distinción de lazo abierto y de lazo cerrado, puede hacerse una posterior clasificación. Se basa en la forma como la señal de accionamiento se emplea para controlar la transferencia de energía desde el suministro a la carga. Las dos categorías de control posible son la discontinua o digital y la continua o analógica.

Una señal discontinua o digital varía de forma discreta y puede tomar tan solo valores discretos entre sus límites. La forma más simple de control discontinuo es un control de la forma todo o nada, en que la función de la señal de entrada es la de conmutar el flujo de potencia de todo o nada. Una vez que se ha accionado el interruptor, no es posible otra forma de control que la de invertir la operación. Fuesto que solo son posibles dos estados discretos, la operación puede considerarse discontinua. El circuito de la bombilla es un ejemplo de todo o nada.

Otra forma de control discontinuo, es el control por saltos, en el que la transferencia de energía se hace por medio de uno de los varios valores posibles. Por ejemplo, un transformador con tomas en el secundario y un conmutador de varias posiciones puede conectarse a una lámpara. En este caso, son posibles cierto número de voltajes para suministrar incrementos discretos de potencia a la lámpara.

Con un control analógico, las señales a través del sistema varían en

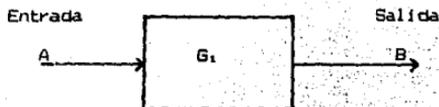
forma continua y pueden disponerse de cualquier valor entre un máximo y un mínimo. Además el control continuo se presta bien a la comprensión de la teoría de control por realimentación empleando matemáticas relativamente fáciles. No sucede lo mismo con el estudio del control discontinuo.

c). DIAGRAMAS DE BLOQUES.

Los sistemas de control están compuestos por un número determinado de componentes relacionados entre sí. Debemos familiarizarnos con la representación de un sistema para análisis o proyectos. Para simplificar la visión de un sistema, con frecuencia se traza un esquema con cierto número de bloques o "cajas". A una representación de este tipo se le denomina diagrama de bloques. Los bloques no representan necesariamente un dispositivo completo, puesto que a veces identifican a una función que se produce en el sistema. Un bloque o caja puede considerarse individualmente solo cuando su salida queda esencialmente afectada en relación a la entrada de otros bloques. Cuando se interconectan mediante segmentos de recta dirigidos, los bloques muestran la función operacional del sistema. Cada línea de conexión representa alguna cantidad o variable del sistema y la flecha muestra el sentido del flujo de la información. Así, la información funcional presentada por un diagrama de bloques tiende a dar más énfasis a lo que está sucediendo en el sistema que a mostrar la forma en que se hace.

La relación entre la señal de salida de un bloque y su correspondiente entrada indica la forma en que la señal se transfiere a través del bloque. De ahí que a esta relación se le denomine función de transferencia del bloque. Como los sistemas tienen invariablemente cierto número de bloques, el análisis se efectúa más prontamente si se adopta una notación abreviada

para la función de transferencia. Un método usual de presentación emplea la letra G con el correspondiente subíndice. La figura de abajo es un bloque que muestra una simplificación de una función proporcional o ganancia de valor G_1 .



Para este bloque la función de transferencia es igual a :

$$\text{salida/entrada}$$

o bien:

$$G_1 = B/A$$

en donde A y B son las cantidades de entrada y salida, respectivamente.

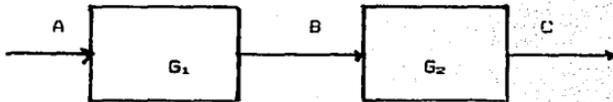
Un punto donde se suma la información se indica mediante un círculo en el diagrama de bloque. Dos o más variables pueden ser sumadas o restadas en un punto sumador. Una variable que llega a una unión con signo positivo pasará a través sin cambiar su signo, si llega restando pasará a través de la unión con el signo invertido.

Las cantidades que se combinan en un punto sumador deben ser homogéneas; por ejemplo, pueden combinarse dos tensiones, pero no pueden juntarse una tensión o una intensidad. En un punto sumador puede entrar cualquier número de variables.

Cuando la salida de un bloque se aplica a dos o más bloques se emplea el punto de toma o derivación. el punto de toma se representa simplemente por mediante un punto negro agrandado.

El diagrama de bloques inicialmente trazado para un sistema puede contener un número elevado de bloques y de entrelazados y resultan más complicado de lo que sería que desear. En tales casos pueden hacerse simplificaciones para reducir el diagrama una forma con pocos bloques. A la transformación de un diagrama con objeto de simplificarlo se le denomina álgebra de los diagramas de bloques, puesto que es análoga a la simplificación algebraica de ecuaciones. Además, en comparación con la simplificación de un sistema de ecuaciones, la reducción de un diagrama de bloques tiene la ventaja de facilitar la visión de la relación entre distintos elementos.

La combinación de bloques en serie tal como se muestra en el diagrama siguiente es evidentemente un paso para la simplificación.



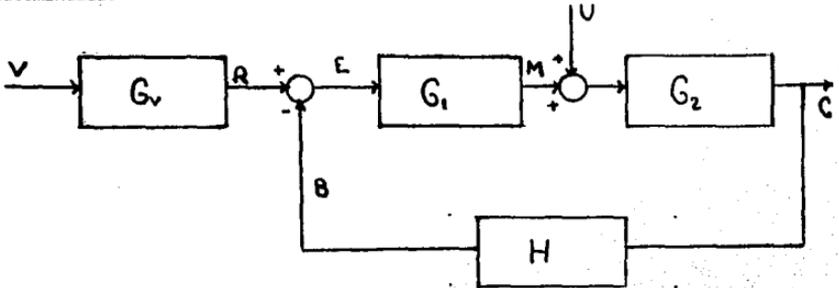
Otra posibilidad, útil a veces, es la de trasladar un punto sumador de uno a otro lado del bloque.

d). FUNCIONES DE TRANSFERENCIA.

Puesto que ciertas funciones van asociadas con sistemas de control realimentado, se puede formular un diagrama de bloques general y deducir la función de transferencia asociada al bucle cerrado. Se ha logrado cierta

normalización en los símbolos y terminología relativos a los sistemas de control realimentado que empleamos en este caso.

Esta figura es un diagrama de bloques de un sistema de control realimentado.



El valor V deseado es una señal externa aplicada al sistema para gobernar una salida específica del proceso. Al valor deseado a veces se le llama punto de ajuste.

La entrada de referencia R se obtiene a partir del valor deseado y constituye una señal externa al ciclo de control. Sirve de referencia para la comparación con la señal de realimentación.

La salida controlada C es la cantidad a controlar con el proceso.

La variable manipulada M es la señal de control que los elementos de control aplican al proceso.

La señal de realimentación B es una función de la salida controlada y se suma a la entrada de referencia.

El error o señal de accionamiento E es la diferencia algebraica entre las señales de referencia de entrada y de realimentación y constituye la señal aplicada a los elementos de control.

La entrada de perturbación U es una señal de entrada al sistema

indeseada (pero inevitable) que hace variar la salida controlada en relación al valor gobernado por la referencia de entrada. Las entradas de señales de perturbación son debido a cambios en la carga del sistema. Naturalmente, la respuesta de el sistema a la entrada de perturbación debe ser la misma.

Los elementos G_1 de la entrada de referencia convierten el valor deseado en la señal de referencia de entrada.

Los elementos de control G_1 son los componentes que actúan sobre la señal de error y generar una señal de control del proceso.

Los elementos de la realimentación H son los componentes necesarios para medir o captar el valor de la salida controlada y convertirla en una señal de realimentación adecuada para su empleo.

Los elementos del sistema o proceso G_2 son el conjunto, proceso o máquina para el que debe ser controlada una cantidad particular.

El sistema de control de la figura anterior está formado por dos partes fundamentales: Los bloques denominados G_1 y G_2 constituyen el camino de transmisión entre la señal de actuación y la salida y recibe el nombre de paso de ganancia directa del sistema. El bloque G_1 incluye los elementos de control y el bloque G_2 es el sistema o proceso que se controla. El paso de realimentación a través del bloque H es el camino de transmisión de la salida controlada a la señal de realimentación. Las señales de realimentación y de referencia se amparan en el punto sumador y su diferencia representa la señal de error. En el punto sumador se verifica.

$$E = R - B = R - CH \quad (1)$$

La función de transferencia del bloque G de ganancia directa vale G/E y, además, $E = C/G$. sustituyendo E en la ecuación (1) obtenemos:

$$C/G = R - CH \quad (2)$$

Resolviendo la ecuación (2) para hallar la función de transferencia de lazo cerrado que es C/R , obtenemos:

$$C/G = G/1 + GH \quad (3)$$

La ecuación (3) revela un importante hecho en relación a los sistemas de lazo cerrado. Si la ganancia directa tiene un valor elevado de forma que el producto GH la ganancia del bucle cerrado se reduce a:

$$C/R = 1/H \quad (4)$$

En este caso, la naturaleza del lazo cerrado depende de la característica de la ganancia directa incluyendo el proceso. Si por cualquier razón, varía la ganancia directa, la realimentación compensará el efecto del cambio sobre la salida. De esta forma, es innecesario calibrar el sistema a excepción del elemento realimentador.

Si se interrumpe en algún punto el lazo cerrado (ejemplo, el punto X de la figura), vemos que la ganancia a lo largo del lazo vale GH . A esta ganancia se le denomina función de transferencia de lazo abierto y, frecuentemente, se toma como relación entre la señal de realimentación y la señal de error. De forma que:

$$\text{Función de transferencia con lazo abierto} = B/E = GH/E = EG/H = GH \quad (5)$$

Si tomamos G como ganancia directa. La ecuación (3) interpretarse de la forma:

Función de transferencia de lazo cerrado = ganancia directa / $1 +$ función de transferencia con el lazo abierto

Un caso especial de la figura, que se halla frecuentemente en la

FALLA DE ORIGEN

práctica, es la comparación directa de la salida con la entrada de referencia. Puesto que el bloque de realimentación, en este caso, toma como valor la unidad, la ecuación (1) se reduce a:

$$G/R = G/1 + G \quad (6)$$

A un sistema de este tipo se le denomina sistema de realimentación unidad y se presenta cuando la salida controlada ha de ser una réplica de la entrada de referencia.

El efecto de una perturbación de entrada U puede analizarse suponiendo que la entrada de referencia tiene un valor nulo.

De una forma similar al análisis precedente, tenemos:

$$C = G_2 (U + M) = G_2 U - G_1 G_2 H C \quad (7)$$

y resolviendo la ecuación (7) para hallar la respuesta C/U tenemos:

$$C/U = G_2 / (1 + G_1 G_2 H) = 1 / G_1 H \quad (8)$$

Cuando $G_1 G_2 H + 1$, en la ecuación (8) podemos observar que el efecto de la entrada de perturbación se reduce a medida que aumenta el valor de la función de transferencia del lazo abierto. Vemos pues, que con un regulador de ganancia G_1 elevada se puede suministrar una salida controlada precisa y muy insensible a los sistemas de perturbación.

Una primera exigencia de los sistemas de control es que la variable controlada se mantenga entre límites especificados aunque varían las condiciones del sistema perturbador. El control de lazo cerrado tiende a precisar el funcionamiento puesto que la realimentación negativa hace lo necesario para reducir continuamente cualquier error a un valor aceptable. No obstante, bajo ciertas condiciones, la acción correctiva puede probar un funcionamiento inestable. En un sistema estable la respuesta a una entrada podrá alcanzar y mantener un valor útil en un razonable intervalo de tiempo. Por otro lado un sistema inestable es ineffectivo para el

mantenimiento de la variable controlada al valor deseado. La salida puede pasar a un valor límite extremo o pueden originarse violentas oscilaciones, haciendo inservible el control o llegando incluso a destruirse.

Es importante tener en cuenta que para las exigencias de precisión e inestabilidad son mutuamente incompatibles.

2.2. APLICACIONES DEL CONTROL AUTOMÁTICO.

En la parte anterior del capítulo ha servido de introducción al control automático que implica el empleo de realimentación negativa en sistemas de lazo cerrado. Esta parte se referirá a las representaciones matemáticas de los elementos de control y sistemas, descripción de varios componentes de sistemas de control. Para dar una perspectiva adicional al tema del funcionamiento del lazo cerrado, terminamos describiendo brevemente varios tipos de aplicaciones de control.

a). MODELOS MATEMÁTICOS.

Para análisis y proyectos de control automático que no sea por aproximaciones sucesivas o sobre una base intuitiva, son esenciales unos conocimientos matemáticos que comportan los temas.

Para comprender el conocimiento de los sistemas, tanto si son simples como complejos, deben obtenerse unas relaciones entre las variables del sistema. dichas relaciones se les denomina modelo matemático del sistema.

Como se indicó en la primera parte del capítulo, un sistema de control consta de una combinación de componentes operacionales dispuestos de forma

FALLA DE ORIGEN

que se establece una relación de componentes operacionales dispuestos de forma que se establece un determinado flujo de información. Las características de los distintos componentes pueden expresarse mediante funciones de transferencia que relacionan las respectivas variables de entrada y salida. Cuando se combinan si estas funciones de transferencia individuales dan lugar a un modelo de sistema completo.

En nuestras consideraciones de introducción a los sistemas de control, las ecuaciones que definirán su naturaleza eran algebraicas. Los valores de las cantidades variables del sistema se establecerán mediante los parámetros del sistema y una vez establecidos no variarán mientras los parámetros permanezcan constantes. Esta condición, de ser independiente del tiempo, representa el funcionamiento estacionario del sistema.

No obstante, un sistema de control no es de naturaleza estática. La salida frecuentemente debe responder a cambios a los mandos de entrada y no interesa la forma de esta respuesta. El sistema también está sujeto a perturbaciones que varían con el tiempo. Además, el mayor problema que se encuentra uno es la inestabilidad o las variaciones oscilatorias en la salida. Todas estas consideraciones requieren que un sistema de control se analice bajo condiciones dinámicas o en funcionamiento transitorio. En este caso las magnitudes del sistema no son constantes sino que varían con el tiempo.

Las ecuaciones que describen sistemas dinámicos contienen no solamente las propias variables, sino también las relaciones de variación o derivadas de dichas variables. Estas ecuaciones son las ecuaciones diferenciales que se aplican para sistemas mecánicos, eléctricos, térmicos e hidráulicos. Las ecuaciones diferenciales nos permiten traducir la naturaleza dinámica del sistema físico a un modelo matemático equivalente. Debe tenerse en cuenta

que para plantear una ecuación diferencial es más necesario conocer los aspectos físicos del problema que disponer de cultura en las matemáticas en sí. Para plantear una cierta variedad de ecuaciones diferenciales hay que basarse en unos principios fundamentales y básicos de física.

b). LA REALIMENTACIÓN Y SUS EFECTOS.

Control de realimentación es una operación, que en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida y la entrada de referencia de un sistema y que lo hace sobre la base de esta diferencia.

El sistema de control realimentado es aquel que tiende a mantener una relación preestablecida entre la salida y la entrada de referencia, comparando ambas y utilizando la diferencia como parametro de control.

Es de notar que los sistemas de control realimentado no están limitados al campo de la ingeniería, sino que se puede encontrar en áreas ajenas a la misma, como a la economía y la biología. De hecho, el organismo humano es un sistema de control realimentado extremadamente complejo.

El principal motivo de utilizar realimentación en sistemas de control es reducir la sensibilidad del sistema a variaciones de los parámetros y perturbaciones indeseadas.

Si ha de construirse un sistema de control adecuado de lazo abierto, habrá de seleccionarse los componentes de la función de transferencia a lazo abierto muy cuidadosamente para que responda con exactitud. Sin embargo, en el caso de tratar de realizar un control de lazo cerrado, los componentes pueden ser menos precisos, ya que la sensibilidad a variaciones de los parámetros es reducida por un factor $1 + G$. En muchos casos prácticos el valor de $1 + G$ es generalmente mucho mayor que uno.

Se hace notar que al reducir los efectos de variaciones de parámetros de los componentes, frecuentemente se establece un puente sobre el componente culpable, con un lazo de realimentación.

Modificación de las constantes de tiempo utilizando la realimentación.-

Sea el sistema que se ve en la figura (a). La constante de realimentación negativa agregada hace que se reduzca la constante de tiempo T de este sistema. La figura (b) muestra el sistema con la misma función de transferencia directa que la indicada en la figura (a) pero con la alimentación negativa añadida. Se ha reducido la constante de tiempo de este sistema a $T/(1 + Ka)$.

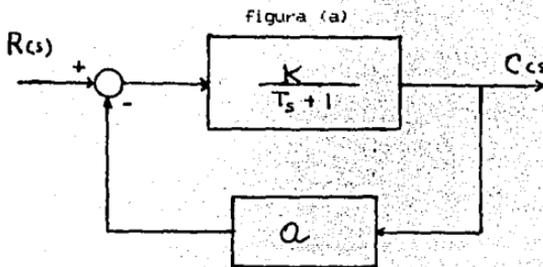
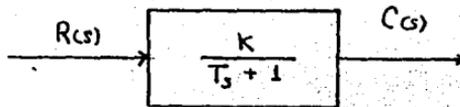


figura (b)

Si en lugar de un lazo de realimentación negativa, se añade un lazo de realimentación positiva alrededor de la función de transferencia y la realimentación se elige adecuadamente, se puede hacer que la constante de tiempo valga cero o un valor muy pequeño.

Aumento de ganancia de lazo utilizando realimentación positiva.- Cuando la ganancia de lazo es muy grande, la función de transferencia de lazo cerrado se vuelve igual a la inversa de la función de transferencia del elemento de realimentación.

Si un sistema tiene realimentación unitaria, la función de transferencia se vuelve casi igual a la unidad.

Eliminación de integración.- La introducción de un lazo menor rodeando un integrador lo modifica convirtiéndolo en un elemento de retardo de primer orden.

Como se vio en la discusión previa, el control de realimentación o control de lazo cerrado reduce la sensibilidad de un sistema frente a variaciones de sus parámetros y, por tanto disminuye los efectos en la ganancia en el paso directo de respuesta a variaciones en la presión de abastecimiento, tensión de alimentación, temperatura, etc.. También se ha visto que los elementos que realizan las diversas acciones de control, están en la parte de realimentación de los mecanismos de control y que los elementos de realimentación en los mismos esencialmente aumentan la linealidad del amplificador y el rango de sensibilidad proporcional.

Sin embargo, el uso de lazos de realimentación en los sistemas de control aumentan la cantidad de componentes de los sistemas, aumentando con ello la complejidad e introduciendo la posibilidad de inestabilidad.

c). TIPOS DE SISTEMAS DE REALIMENTACIÓN

Puesto el marco de control automático es virtualmente ilimitado, reduciremos los ejemplos a los más usuales en la industria moderna.

Servomecanismos. - Aunque los servomecanismos por sí mismos no son una aplicación al control, son dispositivos que se hallan comúnmente en el control automático. Un servomecanismo, o "servo", es un sistema de control de lazo cerrado en que la variable controlada es una posición o un movimiento mecánico. Está proyectado para que la salida responda exactamente y en forma precisa a una variación del mando de entrada. Podemos imaginario como un dispositivo seguidor y de ello se deriva su nombre. Un servomecanismo típico equipado con un motor eléctrico donde la variable controlada es el ángulo de posición mecánico y se denomina servomecanismo posicional. Otra forma de servomecanismo es el que se controla la proporción de variación o la velocidad y se conoce con el nombre de servomecanismo proporcional o de velocidad.

Control de procesos. - Control de procesos es un término aplicado al control de variables de un proceso de fabricación. Plantas químicas, refinerías de petróleo, plantas de envasado de alimentos, hornos de fundición y plantas textiles son ejemplos de procesos de producción en los que se aplica el control automático. El control de procesos se mantiene sobre determinados valores de variables tales como las temperaturas, las presiones, caudales, niveles, viscosidades, densidades y composiciones.

En un proceso normal puede haber pocos o muchos ciclos de control, digamos 100 o más. En años recientes los controles de procesos se han

ampliado hasta llevar todas estas funciones control independiente a un control integrado mediante un computador digital. El controlador es el computador que efectúa una función supervisora comparando las condiciones del proceso en relación a un criterios de trabajo establecidos y determinando los cambios de las variables del proceso para conseguir un funcionamiento óptimo.

En muchos trabajos de control de procesos se extiende el empleo del computador digital para efectuar un control digital directo de las variables del proceso. Con el control digital directo, el computador calcula los valores de las variables manipuladas directamente a partir de los valores de referencia y de las medidas de las variables del proceso. Como el control del computador suple la acción del controlador analógico, no son necesarios dichos controladores convencionales.

Generación de potencia.- La industria de la energía eléctrica relacionada con la conversión de las formas de energía y con su distribución. Las plantas modernas, grandes, de varios centenares de megavatios, requieren complejos sistemas de producción de potencia óptima. El control de la generación de potencia puede considerarse en general una aplicación del control de procesos y es frecuente tener bajo control mas de 100 variables manipuladas mediante un computador de control.

El control automático también ha hallado extensa aplicación en la distribución de potencia eléctrica. Los sistemas eléctricos en general contienen un buen número de plantas generadoras; al fluctuar la carga, se controla el sistema de generación y transporte de la potencia con el objeto de lograr un costo mínimo.

FALLA DE ORIGEN

Control numérico.- Hay muchas operaciones mecánicas, tales como el taladrado, cilindrado, planeado y soldadura, para enumerar tan solo algunas, que deben efectuarse con una gran precisión y en forma repetitiva. El control numérico es un sistema que emplea unas instrucciones predeterminadas, denominadas programa de control secuencial en relación a las operaciones a efectuar.

Las instrucciones para efectuar un determinado trabajo están codificadas y almacenadas en forma de números. Las instrucciones, normalmente identifican las herramientas a emplear y en que forma, además del movimiento de las mismas.

Transporte.- Para efectuar el transporte masivo en las modernas áreas urbanas son necesarios los grandes y complejos sistemas. Algunos sistemas de transporte automatizados, actualmente en funcionamiento, disponen de trenes que pasan a intervalos de algunos minutos. El control automático es necesario para mantener la cadencia de los trenes y para efectuar aceleraciones y frenados confortables en las estaciones.

El control de vuelo de las aeronaves es otra aplicación en el campo de los transportes. El elevador, timón y otros controles de la aeronave son accionados para corregir diferencias. Esta ha demostrado ser una de las aplicaciones más complejas de control debido a la ancha gama de parámetros del sistema y a la interacción entre los controles.

2.3. COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

La función de un sistema de control automático es la de mantener un control sobre una variable de salida. Por lo tanto es necesario que el

sistema contenga algún medio para medir la variable controlada. Ello se consigue mediante un dispositivo denominado transductor. Un transductor puede definirse como un elemento que convierte una señal de una magnitud física tal como la posición, presión, temperatura, etc., y transmite esta información en forma de cantidad de magnitud física de otra clase, generalmente eléctrica. Puesto que normalmente el comportamiento de un transductor es un grado de precisión, estabilidad y comportamiento. En muchos casos la cantidad de salida de un transductor es directamente proporcional a la cantidad de entrada, aunque existen excepciones.

La salida o elemento de control final es la parte del sistema que realmente consola el flujo de energía hacia la variable controlada. A veces se le denomina accionamiento de potencia. Accionamiento usuales con motores eléctricos, válvulas de control, bombas y cilindros hidráulicos. Naturalmente el elemento de salida debe tener potencia suficiente para gobernar la carga en la forma deseada. Ciertos accionamientos de potencia se describen en la parte 2.2.

En la mayoría de los casos, la potencia de salida de detector de error es insuficiente para el gobierno del elemento de control final. Puesto que la función del sistema de control es la de gobernar la salida para reducir casi a cero el error es necesario intercalar un amplificador entre el detector de error y la salida. Con este propósito son ampliamente empleados amplificadores convencionales de potencia electrónica o transistores. También se emplean otras formas de amplificación de potencia.

a). TRANSDUCTORES

Potenciómetros.— El potenciómetro se emplea frecuentemente para

convertir cierta posición mecánica en una representación eléctrica. El potenciómetro es una resistencia que dispone de un contacto deslizante que se mueve a lo largo del elemento resistivo. El movimiento se le comunica mediante la rotación de un eje; también hay potenciómetros diseñados con movimientos de traslación.

Los potenciómetros se emplean mucho en los equipos eléctricos en los que se desea un nivel de tensión ajustable. Un ejemplo familiar de un potenciómetro es el control de volumen de un receptor de radio.

Sincros.- Otro tipo de transductor empleado en sistemas de control automático para medir una posición es el denominado sincro. Con este término se abarcan toda una gama de dispositivos electromecánicos, ampliamente empleados en los sistemas de transmisión y de comunicación. Esencialmente un sincro es un convertidor de posiciones en tensión, o viceversa. Los sincros se identifican frecuentemente con el nombre de las marcas comerciales.

Existen cuatro tipos fundamentales de sincros, transmisores, receptores, transformadores y diferenciales. Aunque los sincros difieren entre sí por el tamaño, potencia y por detalles específicos de construcción, su disposición general y los principios en que se funda son similares.

Resolucionadores.- En las aplicaciones de control que implica movimientos angulares, invariablemente se emplean las funciones trigonométricas, sobre todo en navegación y en problemas de trayectoria. La importancia de las funciones trigonométricas, han inducido el desarrollo de dispositivos denominados resolucionadores. Básicamente, un resolucionador es un dispositivo que a unas señales eléctricas de salida que son funciones

FALLA DE ORIGEN

trigonométricas de entradas angulares.

Transductores de posición lineal.- Los sincros y los resolucionadores son transductores de posición angular en los que el coeficiente de acoplamiento entre los devanados primario y secundario se varía mediante un giro de un grupo de devanados con respecto a otro.

También es posible variar el acoplamiento en un movimiento en línea recta (movimiento lineal). Entre los varios dispositivos que se han diseñado para este fin mencionaremos dos: el transformador diferencial de variación lineal y el inductor syn.

Tacómetros.- Un generador eléctrico es un dispositivo que convierte energía mecánica en eléctrica por medio de inducción electromagnética. La inducción electromagnética es un fenómeno físico mediante el cual se induce una tensión eléctrica en un conductor, cuando éste corta líneas de campo, las líneas de campo se mueven y cortan el conductor. La tensión inducida o generada es proporcional al número de espiras del conductor y a la rapidez del flujo magnético respecto al conductor.

Un segundo empleo de dichos generadores, especialmente en servomecanismos y otros sistemas de control, es como transductores para dar una señal proporcional a la velocidad. En esta segunda aplicación el generador se denomina tacómetro. La primera condición que debe cumplir es la de un elevado grado de linealidad entre la tensión y la velocidad del eje de rotación.

Acelerómetros.- Un acelerómetro es un transductor que suministra una señal proporcional a la aceleración lineal en la dirección del eje

sensible. La forma de trabajo de la mayoría de acelerómetros se basa en la Segunda Ley de Newton. La aceleración se mide indirectamente midiendo la fuerza necesaria para acelerar una masa conocida. Un tipo de acelerómetro común, básicamente es un sistema de masa muelle.

Extensímetros (strain gauges).- Un extensímetro es un transductor que se emplea para medir los esfuerzos a que están sometidos máquinas herramientas, tuberías, estructuras de aviones, presas de agua, etc.. El más común de los extensímetros es el de resistencia eléctrica.

La utilidad de un extensímetro de resistencia se basa en el hecho de que un alambre de metal sometido a tracción sobre una variación de resistencia que depende de la variación de su longitud. Las dimensiones de un extensímetro pueden ser lo suficientemente pequeñas como para permitir la medición de la tensión en un punto determinado con mucha precisión.

Transductores de temperatura.- En los procesos industriales se emplean temperaturas comprendidas entre los -200 y los 2000 °C y, frecuentemente, es necesario medirlos con precisión para el control de las propiedades físicas y químicas de los materiales. La citada gama de temperaturas puede medirse empleando diversos tipos de transductores que conviertan la temperatura en señal eléctrica. El tipo de selección para una determinada aplicación depende no solo del valor de la temperatura a medir, sino también de la precisión con que debe medirse, de la velocidad de respuesta y de coste. Dos de los métodos usuales emplean el termómetro de resistencia y el termopar.

b). ACCIONAMIENTO DE POTENCIA

Motores de C.C..- Un motor eléctrico que convierte la energía eléctrica en energía mecánica. En muchos procesos industriales se efectúan movimientos giratorios o lineales mediante motores, puesto que su funcionamiento puede controlarse en forma continua y con precisión en una ancha gama de velocidades y de cargas.

Se emplean motores con potencias nominales que van desde fracciones a centenares de caballos de vapor. Aunque existe una gran variedad de diseños para que cumplan unas determinadas especificaciones, básicamente pueden distinguirse los motores de C.C. y de C.A.

El motor de C.C. se emplea extensivamente en sistemas de control de levadas y bajas potencias. El motor de C.C. es similar al generador o dinamo. El principio en que se basa el motor es el hecho de que un conductor recorrido por una corriente que se halla proporcional al flujo magnético, queda sometido a una fuerza que se halla proporcional al flujo magnético y a la intensidad en los arrollamientos del rotor. El flujo magnético pueda obtenerse mediante imanes permanentes o electromagnéticamente mediante arrollamientos. La intensidad de corriente que establece el campo magnético recibe el nombre de intensidad de campo o intensidad de magnetización.

En las aplicaciones de sistemas de control el rotor y el arrollamiento del campo magnético están alimentados desde distintas fuentes, con lo que pueden controlarse el par y la velocidad del motor.

Motores de C.A..- Las ventajas que presenta un motor de corriente alterna en su empleo para la mayoría de los accionamientos industriales es

su velocidad constante, y no coincide necesariamente con las deseables para las aplicaciones de los sistemas de control. A veces es necesario un motor que pueda trabajar con un amplio margen de velocidades y elevado par de arranque. La primera ventaja de los motores de C.A. sobre los de C.C. es la compatibilidad respecto a las señales de C.A. de los sincro, transductores de compatibilidad de posición sin necesidad de un demodulación.

Engranajes. - Los engranajes son usuales para el acoplamiento de sistemas giratorios y con su empleo se puede mejorar la transferencia de potencia entre un sistema activo y una carga. Por ejemplo, los motores generalmente son de velocidad elevada y de poco par. El empleo de engranajes entre el eje del motor y el de la carga puede reducir la velocidad y aumentar el par hasta el valor necesario para la carga.

Un tipo de engranajes muy frecuentes es el cilíndrico. Para relaciones de transmisión mayores se emplean varios ejes y el conjunto se le denomina tren de engranajes.

Valvulas de control En un sistema de control de procesos se presenta frecuentemente la necesidad de controlar el caudal de un fluido para determinar unas determinadas condiciones de trabajo del proceso. En sistemas de este tipo, el elemento de control final puede ser una válvula instalada en una tubería. Se necesita una potencia pequeña para posicionar la válvula de forma conveniente y gobernar una gran potencia de salida. Basicamente, una válvula de control reduce la acción a través de la cual puede pasar un fluido. En este sentido, la válvula es un recipiente de presión capaz de soportar las peores condiciones que puedan encontrarse en

una aplicación particular. La parte más importante de la válvula es el tapón que se posiciona en el cuerpo de la válvula para variar la sección del orificio. El tapón es movido por un vástago que a su vez puede estar gobernado por un sistema activo tal como un motor hidráulico o eléctrico, una bobina magnética o un diafragma neumático.

C). AMPLIFICADORES

Se puede definir un amplificador como un dispositivo que recibe una señal de entrada y suministra una salida mayor con relación a la entrada según una ley determinada. Existen muchas clases de amplificadores y la mayoría se puede adaptar a sistemas de control. Si un amplificador suministra a la salida una potencia superior a la entrada, se clasifica con el nombre de amplificador de potencia. Otra clase de amplificadores son los amplificadores de tensión.

Un amplificador de un sistema eléctrico puede ser un dispositivo tan simple como un relé electromecánico que puede constar de dispositivos electrónicos tales como válvulas, transistores o circuitos magnéticos. Los relés neumáticos, los posicionadores de válvulas y los diafragmas de válvulas pueden emplearse para efectuar una amplificación cuando el medio de que se sirve el sistema es el aire comprimido; los amplificadores por medio de fluidos pueden hallar aplicación en los sistemas líquidos.

Amplificadores operacionales.— La amplificación de tensión en muchos sistemas de control se obtiene mediante unos circuitos electrónicos muy versátiles denominados amplificadores operacionales. El término de amplificador operacional proviene del campo del computador analógico, para

FALLA DE ORIGEN

designar un circuito amplificador que efectúa varias operaciones matemáticas tales como la suma, integración y diferenciación. La amplificación con estos dispositivos se ha extendido mucho y actualmente se emplean en mucha instrumentación y aplicaciones de control, incluyendo condicionamientos de señales, filtrado y transformaciones de impedancia.

Amplificadores de potencia.- El elemento activo de potencia o elemento de salida de un sistema de control normalmente ha de ser gobernado con bastante potencia. Existen dispositivos electromecánicos y electrónicos para efectuar la necesaria amplificación de potencia entre el detector y el error y la etapa de salida. Como ya se ha mencionado los relés son medios simples para la amplificación de potencia eléctrica.

Amplificación a transistores.- En la mayoría de los amplificadores electrónicos (incluyendo los empleados en sistemas de control), los transistores han reemplazado a las válvulas de vacío debido a su rendimiento, fiabilidad y vida útil, espacio, peso, y debido a resistencia respecto a choques mecánicos y vibraciones. No obstante su sensibilidad a la temperatura, especialmente para niveles de potencia elevado, impone una limitación en su empleo.

Rectificadores controlados de silicio (SCR).- Para aplicaciones de potencia elevada, hasta la gama de los megavatios, se emplean extensivamente los rectificadores de silicio o SCR, como se denomina frecuentemente ; pueden emplearse para una gran variedad de cargas, incluyendo inductivos de motor, calefactores y bancos de lámparas.

Amplificadores magnéticos Un amplificador magnético es un dispositivo que con una señal de control determina la reactancia inductiva de un devanado de salida que está en serie con la carga y que gobierna así la porción de tensión de alimentación que aparece en bornes de la carga. La reactancia del devanado de salida se alterna variando la saturación de un núcleo de hierro sobre el que estarán devanados los arrollamientos de salida y de entrada. Debido al principio de trabajo en que se basan dichos dispositivos, frecuentemente se les aplica el nombre de reactores saturables.

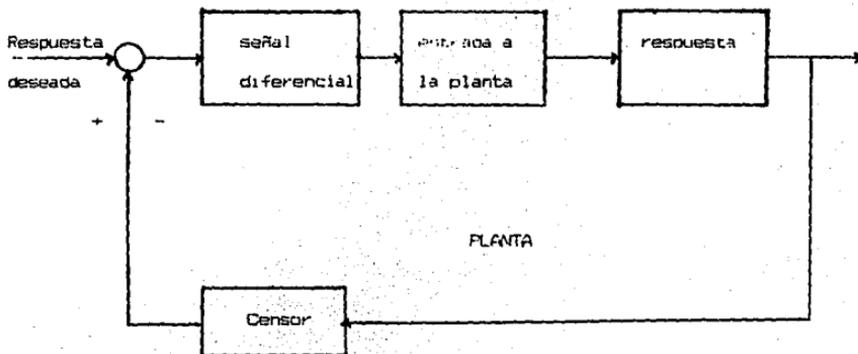
Moduladores y demoduladores.— Un modulador es un dispositivo que tiene una entrada de C.C. y una salida de C.A. que es proporcional a la carga de entrada. Muchos moduladores trabajan fraccionando la señal de C.C. en una onda cuadrada u otra forma prevista. Por ello reciben a veces el nombre de troceadores, término que describe la acción que efectúan.

Los moduladores adoptan distintas formas. Los más frecuentes son los electromecánicos, los de transistores y los moduladores piezoeléctricos. Un dispositivo que convierte una señal de C.A. de entrada en una señal de salida de C.C., el valor de salida de C.C. es proporcional a la amplitud de la C.A. de la entrada y su polarización varía si se invierte la fase de entrada. A los demoduladores de este tipo también se les llama rectificadores.

2.4. CONTROL DIGITAL

a). INTRODUCCIÓN.- CONTROL DE LAZO CERRADO.

Un sistema de bucle cerrado es aquel en que algunas funciones del sistema (entrada) se determinan, al menos en parte, mediante la respuesta (salida). La figura ilustra un sistema sencillo de bucle cerrado:



FALLA DE ORIGEN

El censor (o sensores) mide la respuesta de la planta que es a su vez comparada con la respuesta deseada, la cual conducirá a la señal diferencial a acercarse a cero. En general se obtiene una respuesta en bucle cerrado inaceptable si la entrada a la planta es simplemente la diferencia entre la respuesta deseada y la respuesta actual. En lugar de ello, esta señal diferencial entre la respuesta deseada y la respuesta actual. Esta señal diferencial debe procesarse (filtrarse) mediante otro sistema físico, llamado compensador, controlador, o simplemente filtro.

En el sistema ilustrado el censor es un instrumento adecuado de medida y la función de compensación se efectúa mediante un computador digital. La planta tiene una dinámica; programamos al computador de manera que tenga la dinámica de la misma naturaleza que la de la planta. Además, aunque en general no podemos escoger la dinámica de la planta, si podemos escoger un computador tal que la dinámica del sistema en bucle sea satisfactorio.

Las matemáticas asociadas con muchos aspectos al control digital tienen en gran escala un conocimiento de la transformada de Laplace y de la transformada Z. En el diseño de un sistema de control es necesario especificar la ejecución deseada. Esta especificación incluye "adecuada" estabilidad, "buena" exactitud, y, adicionalmente quizá, las propiedades de rechazo turbulento del sistema. Es usual cuantificar estas características a través de las respuestas del sistema a entradas conocidas. Las ondas de rampa, cuadrada y senoidal representa la forma más común de entrada, y de estas señales la onda cuadrada es la más simple a considerar. La respuesta del sistema puede ser considerado en dos fases:

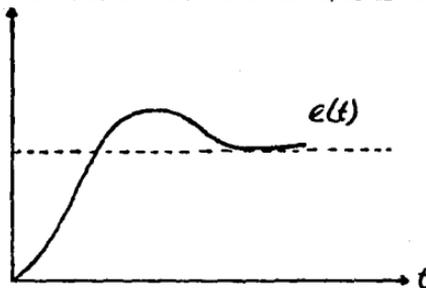
1. Lo transitorio que refleja la estabilidad del sistema.
2. El estado estable que está relacionado a la exactitud.

La respuesta transitoria puede ser determinada directamente por

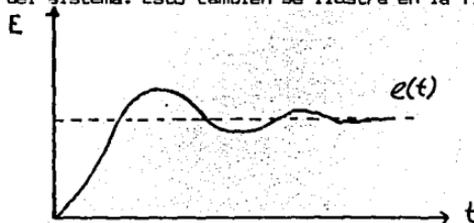
medición.

1. Tiempo subiendo (el tiempo en que la salida del sistema se incrementa desde 10% a 90% del valor final);
2. Porcentaje de excedencia (la diferencia máxima entre los valores transitorios y el estado estable);
3. Tiempo de instalación (el tiempo requerido para la respuesta extendida y remate sin un porcentaje específico del valor final., usualmente mas-menos 2% a 5%.

La exactitud en el estado estable puede ser caracterizada por coeficientes de error, aunque estrictamente este concepto solo se aplica a sistemas de realimentación coherentes. Este concepto es ilustrado en la siguiente figura. E

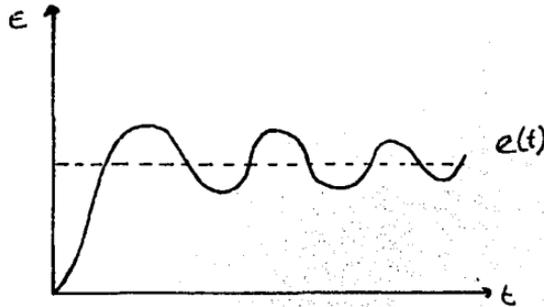


En terminos simples, una ganancia "alta" daría buena resolución (exactitud del estado estable) y una buena alteración de rechazo a expensas de la estabilidad del sistema. Esto también se ilustra en la figura.



Frecuentemente en control digital, un conocimiento de las constantes de

tiempo del sistema es requerido al fin de determinar el periodo de muestreo. La idea de una constante de tiempo es lo mejor ilustrado para considerar la respuesta cuadrada de una malla R-C como se muestra en la figura.



Las constantes de tiempo de la figura anterior, puede ser definida ambas como el tiempo que se extiende 63.2% del valor final, o como el tiempo que se extiende al valor final si la pendiente (razón de cambio) puede ser mantenida. En general un sistema puede tener muchas constantes de tiempo. Bajo el control analogico, los sistemas con tres o más constantes de tiempo y suficiente ganancia puede ser hecho inestable.

b). ESTRATEGIAS DEL CONTROL DIGITAL

Un esquema completo de control digital puede involucrar muchos lazos de control, particularmente en aplicaciones de proceso. En cualquiera de alguno de los lazos el computador puede ser usado para generar una señal la cual es enviada a un actuador o a cambio de la señal de referencia a un punto preestablecido. La primera estrategia es llamada control digital directo (DIRECT DIGITAL CONTROL, DDC) y la segunda es control supervisorio. Adicionalmente, el control supervisorio es algunas veces

llamado control de un punto establecido (SET-POINT CONTROL, SPC): El computador es capaz de combinar ambos métodos de control.

c). PROCESAMIENTO DE SEÑALES.

Virtualmente todos los fenómenos físicos del mundo que nos rodea son del tipo analógico. Desplazamiento, velocidad, aceleración, temperatura, presión, voltaje, corriente, carga, etc.: son parámetros que cambian de manera gradual. Sin embargo, es conveniente representar sus magnitudes en forma digital para que los circuitos lógicos puedan tomar decisiones, almacenar información o transmitirla. Surge entonces la necesidad de convertir magnitudes analógicas a digitales (A/D) proceso que se conoce como codificación y también de realizar el proceso contrario de pasar de digital a analógico (D/A) o sea la decodificación.

Conversión A/D y D/A. - La "conversión" A/D es la transformación de señales analógicas en forma digital, mientras que la "conversión" D/A es la obtención de señales analógicas a partir de datos digitales. Las señales analógicas pueden tener la forma de voltajes o corrientes, en tanto que las señales digitales serán generalmente binarias, codificadas en binario normal o en forma de dígitos BCD (binary coded decimal).

Estas conversiones analógico-digitales se incluyen frecuentemente en sistemas complejos de medición y control. En todos estos casos, los convertidores A/D y D/A, aunque son partes fundamentales, están incorporados en otros componentes, como computadoras, redes de transmisión y de conmutación, elementos de almacenamiento, tanto temporal como permanente, y muchos otros. La cantidad y el tamaño de estos componentes

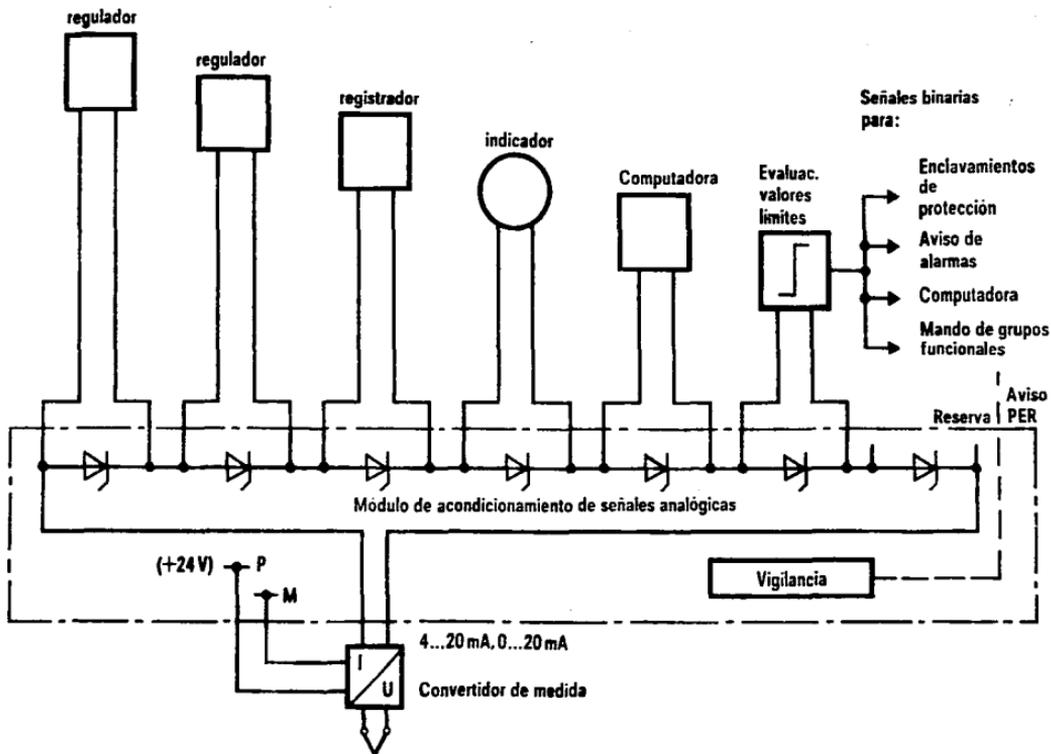
FALLA DE ORIGEN

pueden sobrepasar con mucho los de la parte de conversión A/D/A y en ocasiones opacarlos por completo. Sin embargo, la eficacia y utilidad de la información que maneja el resto del sistema, y en especial cuando se trata de un sistema básicamente digital, dependen de la precisión y las características de la etapa convertidora A/D/A.

La conversión de una señal digital en su correspondiente (voltaje o corriente) analógica puede lograrse por diferentes métodos. En forma poco ortodoxa podríamos clasificar en dos grupos: métodos "estáticos" y métodos de "división de tiempo". En los estáticos, la señal digital cerrará una serie de interruptores de acuerdo con un patrón constante (mientras la entrada digital lo sea) para controlar corrientes o voltajes. Por el contrario, en la conmutación mediante división de tiempo cierra y abre un interruptor de acuerdo con un patrón dinámico de modo que el valor medio del voltaje o la corriente corresponda al valor deseado, ambas técnicas tienen sus propias ventajas e inconvenientes.

En la conversión analógica-digital, también en este caso, se puede establecer una división entre los convertidores que operan directamente con el voltaje de entrada y los que aplican técnicas de división de tiempo para realizar la conversión. Casi todos los convertidores A/D son del tipo de entrada por voltaje. Los métodos más importantes de conversión A/D son los llamados "paralelos" o "flash", "aproximaciones sucesivas" y "por integración" o "de rampa"; los convertidores se designan generalmente según la técnica que utilizan.

La conversión en ráfaga (flash) puede considerarse como la solución de "fuerza bruta" para la conversión A/D. Consiste en disponer un comparador para cada posible nivel de entrada y codificar la salida adecuadamente en binario.



Principio de acondicionamiento de señales analógicas

Los convertidores de aproximaciones sucesivas se basan en un DAC utilizado dentro de un sistema lógico automático que actúa sobre el hasta lograr que su salida corresponda a la entrada. La entrada lógica del DAC es entonces el valor digital de salida buscado.

El convertidor de integración transforma el cociente de voltaje entre la entrada y la referencia de una relación de tiempos. Existen varias formas de convertidores de integración, pero todos se basan en rampas lineales obtenidas de un integrador analógico controlado, respectivamente por una y otra señal.

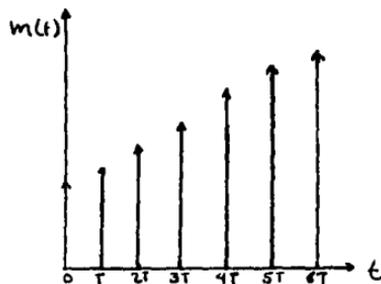
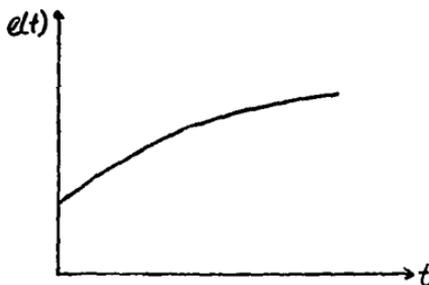
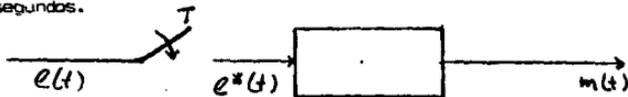
Hay otros tipos de convertidores A/D que también se utilizan en ciertas aplicaciones. Algunos de ellos son básicamente combinaciones de otros convertidores, y el más importante tal vez se da de dos pasos. Se trata fundamentalmente de un elemento de aproximaciones sucesivas, en el que se utiliza como comparador un convertidor de ráfaga (tipo flash). El resultado (multibit) de la primera conversión se resta a la entrada mediante un DAC de precisión, y el residuo se amplifica y se pasa al segundo convertidor. El resultado es una suma digital de ambos parciales.

d). MUESTREO.

Un convertidor A/D no proporciona ninguna información acerca de la forma de onda de la señal analógica; el número binario que entrega el convertidor indica tan solo el valor que tenía la señal analógica en un instante determinado, o sea corresponde a una muestra de la señal analógica.

Para tener una idea de la forma de onda de la señal analógica debe tomarse muchas muestras de la señal, con una frecuencia suficiente para que tengamos una buena representación de la misma. El proceso de muestreo, como

se trata en la teoría del sistema de control, por muestreo de datos implica la transformación de datos de una forma analógica continua a datos que tienen la forma de valores discretos. El proceso se visualiza fácilmente haciendo referencia a la figura siguiente. La información continua se pasa a través de un interruptor de muestreo, el cual se cierra momentáneamente cada T segundos.



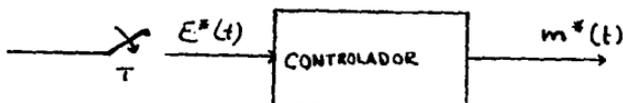
La forma muestreada de los datos se indica en la figura como puntos en la curva.

La función puede representarse matemáticamente como un tren modulado de pulsos. Las muestras verdaderas, o ideales, pueden pensarse como una serie de funciones de impulsos. El área bajo cada impulso representa el valor de la función de impulsos, el área bajo cada impulso representa el valor de la función $f(t)$ en cada uno de los instantes de muestreo. Conforme al teorema de muestreo la relación de muestreo debe ser al menos dos veces la frecuencia máxima con la que se está trabajando. Si la señal no es senoidal el teorema debe aplicarse a la más alta armónica que se considere, por lo que generalmente la frecuencia de muestreo debe ser de 10 a 20 veces la

frecuencia de la señal no senoidal a muestreada.

La señal continua (analógica) es leída o muestreada por un convertidor digital o analógico en instantes discretos de tiempo. El tiempo T entre operaciones sucesivas de un muestreador es conocido como periodo de muestreo. Denotamos a la señal de error muestreada por $E^*(t)$. Es usual asumir que el "interruptor" es cerrado para un muy breve intervalo de tiempo comparado con el periodo de muestreo. De este modo puede ser conveniente considerar el muestreador como un mecanismo el cual "desenreda" los valores de la señal continua en el instante de muestreo.

En el diagrama de bloques indicamos que la señal discreta, $E^*(t)$ es procesada por un controlador digital y que daría la señal de control, $m^*(t)$.



Además con el uso de "*" denotamos que la señal está en forma discreta y solamente disponible en los instantes de muestreo. Familiarmente con el sistema de control analógico, podemos crear la impresión que el controlador digital es una pieza de hardware. En realidad este elemento en el diagrama de bloques representa el programa con el que el microcomputador procesa la

FALLA DE ORIGEN

;;

señal de error $e(t)$ para generar la señal de control $m(t)$. El diagrama de bloques es nada más una ayuda para entender el sistema.

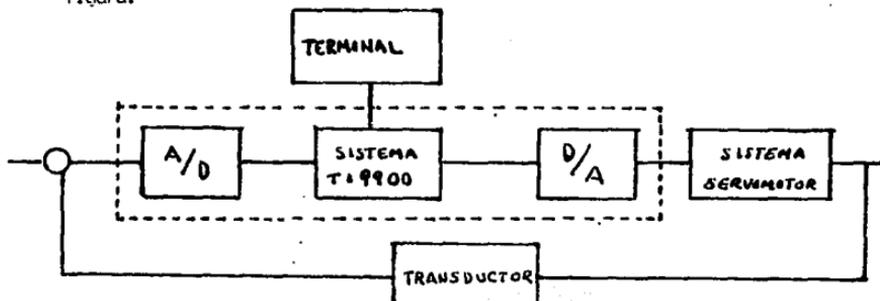
Usualmente para cualquier aplicación particular de control digital hay un rango de frecuencia de muestreo adecuado que está situada entre límites altos y bajos. Si tenemos una onda senoidal muestreada, la señal analógica no puede ser reconstruida exactamente desde la señal de muestreo porque la frecuencia de muestreo es también baja en relación al frecuencia de la onda senoidal. Podemos mostrar por análisis que con esta disposición se realiza una reconstrucción exacta, la señal continua puede ser muestreada a una frecuencia dos veces menor que la frecuencia de la onda senoidal original. Este es el Teorema de Muestreo de Shannon y la mínima frecuencia original de muestreo es algunas veces llamada la frecuencia de Nyquist. En la práctica es necesario determinar los más altos componentes presentes en el espectro de frecuencias. Debido a la incertidumbre inherente en este proceso, es usual mostrar a una alta tasa de frecuencia de Nyquist, por lo menos diez veces la más alta frecuencia conocida presente.

Si asumimos que hay un retraso computacional entre la lectura A/D y la salida de la señal de control de un D/A. El mínimo valor del periodo T ocurre cuando $T = \tau$. En esta situación la microcomputadora está completamente ocupada por la tarea de control y está incapacitado para hacer cualquier otra tarea. De todos modos esto aceptable dependiendo de las aplicaciones particulares. Las más avanzadas técnicas para el diseño de controladores digitales, por ejemplo aquellos basados en la transformada Z, usualmente asume que el tiempo computacional es mucho menor que el periodo de muestreo.

FALLA DE ORIGEN

e). APLICACIONES

El primer estudio es un sistema de control de posición de segundo orden (servomotor) para el cual se tiene un control en avance de fase y otro en retardo de fase. Se comparan las respuestas y se selecciona la velocidad de muestreo destacándose ciertos efectos significativos procedentes de no linealidades de la planta. Este sistema es controlado digitalmente; es de bajo orden y no representa dificultades particulares de diseño ni de realización. El diagrama de bloques de sistema-control se muestra en la figura.



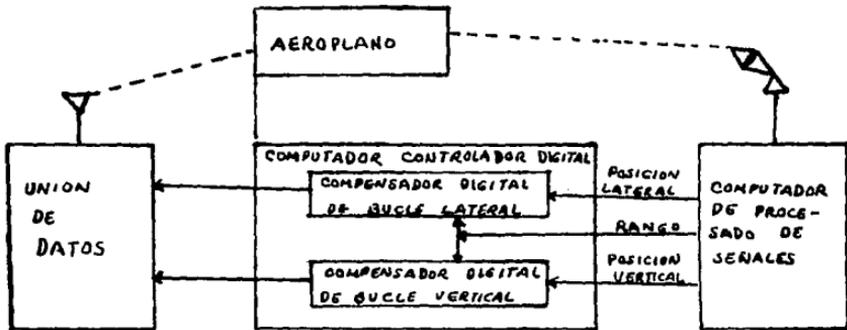
El estudio de un caso de sistema de control digital para una cámara de medio ambiente diseñada para el estudio de crecimiento de plantas; se realizaron dos sistemas de control: uno para controlar la temperatura seca y el otro controlar el dióxido de carbono (CO_2) contenido en la atmósfera de la cámara.

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

11

Sistema de aterrizaje de aviones.- El sistema de control particular descrito es el control de tráfico aéreo, marino y sistemas de aterrizaje.

La figura muestra la operación de control que está compuesta de dos sistemas de control independientes: el sistema de control vertical, que mantiene al aeroplano en una pendiente de deslizamiento y el sistema de control lateral que mantiene al avión en la línea del centro de la aerovia. La otra figura muestra un diagrama de bloques del sistema de control lateral.



CAPITULO III

VARIABLES DE CONTROL DE UNA TERMOCENTRAL

Cuando una planta se opera en equilibrio térmico: los instrumentos reemplazan a las apreciaciones por tanteos de parte de los operadores, que cuentan con aparatos precisos para lograr una operación segura, continua y apropiada de la planta. Las variables de control le dan a los encargados de la supervisión de la planta una base para dirigir su operación de manera de lograr el mejor funcionamiento posible y dan datos para poder calcular el funcionamiento de la planta, o de cualquier parte de ella, pudiendo de esta manera, comparar los resultados obtenidos de tiempo en tiempo. Los sistemas de contabilidad de costos deben basarse en las lecturas de las variables, y la distribución correcta de los costos podrán señalar posibles economías que pueden efectuarse. Además pueden usarse para comprobar las condiciones internas del equipo, que indican donde y cuando deben hacerse trabajos de reparación o conservación.

3.1. TEMPERATURA

Para la mayoría de la gente la temperatura es un concepto intuitivo que indica cuando un cuerpo está "caliente" o "frío". En los enunciados de la segunda ley de la termodinámica, la temperatura se relaciona con el calor, ya que se sabe que éste únicamente fluye de niveles de alta temperatura a los de baja temperatura, en ausencia de otros efectos. Por otra parte, la

Tabla 19.1 Mediciones en plantas eléctricas

Tipo de medición	Dimensión medida
Geométrica	Dimensión (longitud, deformación, dilatación) Posición en el espacio { posición absoluta desplazamiento relativo Nivel de líquido o sólido granulado
Térmica	Presión { inferior a la presión atmosférica (vacío) mayor a la presión atmosférica (manómetro) diferencia de presiones Temperatura
Hidráulica	Velocidad Flujo Volumen
Química	Poder calorífico de combustible Composición química de gases de combustión Análisis de agua (pH, dureza, conductividad, etc.) Pesaje
Mecánica	Esfuerzo estático { par, fuerza y esfuerzo unitario trabajo mecánico y potencia deformación elástica y no-elástica Medidas { rpm vibración
Eléctrica	Voltaje Corriente Potencia eléctrica Factor de potencia
Varias medidas físicas	Humedad (en aire y vapor) Concentración de polvo en el aire Nivel de radiación (α , β , γ), flujo de neutrones

teoría cinética de los gases y la termodinámica estadística, demuestran que la temperatura está relacionada con la energía cinética promedio de las moléculas de un gas ideal. Además los estudios más avanzados de la termodinámica estadísticamente demuestran que también existe una relación entre la temperatura y los niveles de energía de los líquidos y sólidos.

Ya que la presión, el volumen, la resistencia eléctrica, los coeficientes de expansión, etc., son variables relacionadas con la temperatura a través de la estructura molecular fundamental, podemos inferir que los cambios en estas variables pueden utilizarse para medir la temperatura.

Se han empleado varios artificios para medir la temperatura, los principios en que se basa el funcionamiento son la expansión térmica, la resistencia eléctrica, el color de la incandescencia, la fusión de sólidos, y el efecto Seebeck.

La mayor parte de las medidas de temperatura medias y bajas se hace con aparatos que operan por la expansión térmica de sólidos, líquidos o gases. La resistencia eléctrica se emplea para los casos en que se hacen las lecturas a distancia. Los demás se usan especialmente para altas temperaturas. El efecto Seebeck se usa en las instalaciones permanentes en el campo de los pirómetros, por su portabilidad para hacer pruebas e investigaciones, y para determinar temperaturas en puntos normalmente inaccesibles a otros instrumentos.

La medición de temperatura por métodos eléctricos resulta ser muy conveniente para plantas de potencia, ya que estos métodos permiten obtener una señal que fácilmente pueda detectarse, amplificarse, o utilizarse para propósitos de control. Aunados a todo lo anterior, estos métodos proporcionan gran exactitud, siempre que se lleven a cabo con una

calibración y compensación adecuada.

El par termoelectrico consiste en los extremos unidos de dos metales diferentes. Existiran, por supuesto, dos uniones. Una de ellas se coloca en el punto en el que se va a medir la temperatura, la otra se pone en una temperatura de referencia conocida, que generalmente es 0°.

Algunas de las parejas de metales que se emplean en los pares termoelectricos son: cobre-constantan, cobre-hierro, cromel-alumel, y platino-iridio.

3.2. PRESIÓN

La presión se representa como una fuerza por unidad de área. Como tal, tiene las mismas unidades que el esfuerzo y se puede considerar, en sentido general, como un tipo de esfuerzo. Podemos definir la presión como la fuerza que por unidad de área ejerce el fluido sobre una pared. Las fuerzas que se originan como resultado de las deformaciones en los sólidos se denominan esfuerzo. La presión absoluta se refiere al valor absoluto de la fuerza que por unidad de área ejerce un fluido sobre una pared. La presión manométrica representa la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica local. El vacío representa la cantidad en que la presión atmosférica excede a la presión absoluta. A partir de estas definiciones, vemos que la presión absoluta no puede ser negativa y que el vacío no puede ser mayor que la presión atmosférica local. ES de importancia mencionar que la presión local del fluido puede depender de muchas variables; la elevación sobre el nivel del mar, la velocidad, la densidad y la temperatura del fluido, son los parámetros de mayor importancia.

Estas son algunas de las razones para que exista diversidad entre los instrumentos para medir presión:

Escalas.- Para medir presiones manométricas absolutas, y grado de vacío.

Manera de hacer la indicación.- Local, remota, con aguja, con un menisco líquido.

La precisión.- Muy precisos, poco precisos, muy compactos para resistir vibraciones.

Se dispone de una gran variedad de dispositivos para la medición de la presión. La presión estática, es decir, la que no varía en el tiempo, no es difícil de medir con buena exactitud. Sin embargo, las mediciones dinámicas son mucho más difíciles, ya que se ven bastante afectadas por las características del fluido bajo estudio, así como por la configuración del dispositivo de medición. En muchas ocasiones, un instrumento de presión que da resultados muy exactos durante una medición estática puede ser muy poco satisfactorio para presiones dinámicas.

3.3. FLUJOS Y NIVELES

El flujo de líquidos o gases lo consideramos como la medición del gasto. Muchos proyectos de procesos industriales dependen de una medición de gasto para suministrar datos importantes al análisis. En algunos casos, se requiere de una gran precisión en su medición, mientras que en otros solamente se necesita una medición burda. La exactitud de una medición de gasto está directamente relacionada con su utilidad, es fácil ver como un pequeño error en la medición de un gasto en un ducto largo de gas natural o de un oleoducto conducirá, en un corto periodo de tiempo, a una diferencia de miles de pesos. La medición de gasto frecuentemente requieren de

mediciones exactas de temperatura y presión para poder determinar el gasto con exactitud.

Hay al menos ocho diferentes propiedades físicas usadas para medir el flujo de fluidos. Estas son las siguientes:

- La transformación de energía cinética en energía de presión, la cual después es medida.
- La generación de un voltaje eléctrico el cual es proporcional a la velocidad lineal.
- La transformación de la velocidad lineal del fluido a su correspondiente velocidad rotacional, el cual puede ser medido.
- La inferencia en la velocidad del fluido por el efecto de enfriamiento de un cuerpo caliente en el fluido.
- La generación de oscilaciones en el fluido, con una frecuencia proporcional a la velocidad del fluido.
- La inferencia en la velocidad del fluido por el efecto de la velocidad del sonido en el movimiento del fluido.
- El uso de algunas formas de trazadores, para detectar la velocidad lineal del fluido.
- La medición directa de la cantidad total del flujo, usando mecanismos de desplazamiento positivo.

Cada principio puede ser aplicado a un número de métodos diferentes.

El flujo de un fluido puede ser medido por la razón de flujo o el volumen del flujo. La razón de flujo es la integración de la velocidad de una trayectoria individual de flujo, el cual reúne al perfil total de la velocidad a través de la tubería. El mecanismo de medición de la razón de flujo puede ser usado para dar una indicación visual directa o la transmisión de datos pueden ser alimentados a indicadores remotos.

registradores, o controladores automáticos. Los mecanismos de volumen de flujo miden el volumen total del fluido que ha pasado a través de una tubería en un intervalo de tiempo dado; los mecanismos típicos son usados para propósitos de monitoreo fiscal, pero raramente en conductores de realimentación.

Entre los métodos comunes de medir corrientes de agua como las que se pueden encontrar en el promedio de las plantas de fuerza figuran, el contador giratorio de desalojamiento, el contador de Venturi y el de orificio.

El principio con el que opera el contador de Venturi es la reducción de presión que acompaña un aumento de velocidad (principio de Bernoulli). La velocidad se aumenta intercalando una pieza conica que termina en una sección mínima, luego otra divergente hasta terminar en el tamaño normal del tubo. Se llevan conexiones de la región de baja presión y de la región de presión normal a los manómetros del instrumento.

El gasto de vapor, del gas y del agua se miden a menudo con manómetros diferenciales, usando orificios de placas delgadas, como elementos principales (se usa también con este fin la tobera de radio grande, pero con menos frecuencia). El procedimiento consiste en medir cargas, para lo que se necesita un elemento principal y un manómetro diferencial. El elemento principal es el orificio. Por medio de los manómetros es con lo que se puede saber el gasto que pasa por el orificio del cual se determina la diferencia de cargas. Si se hace circular un fluido que se considera incomprensible por un orificio, éste adquirirá una velocidad momentánea mayor y una presión menor al pasar por él. Aunque después el fluido se recupere y vuelve a ganar la presión perdida en el orificio, la diferencia de presiones corriente arriba y corriente abajo es la que al medirse puede

interpretarse en terminos de gasto.

En general, la medición de nivel puede ser clasificado en dos grupos generales: directo e inferencial. la medición del nivel directo es simple y económico. Usualmente, seran visuales como, por ejemplo, el tubo indicador, varilla sumergida, y cinta equilibrada, y no son fácilmente adaptadas para una generación de señal.

Los métodos inferidos dependen de las propiedades que el medio tenga y que se relacionen con el nivel y que sean medibles. Para este propósito, hacemos uso de varias propiedades físicas y eléctricas que serían propias para la generación de señales de salida para una transmisión remota. incluimos en estas propiedades las siguientes:

-Fuerza hidrostática.- La fuerza o peso producida por la altura de un líquido, al cual podría ser censado por un transductor de presión situado en el fondo del vaso.

-Flotación.- La fuerza hacia arriba de un cuerpo sumergido, el cual es igual al peso del fluido desplazado, o el desplazamiento hacia arriba de un flotador hacia la superficie. Aquí, el manómetro o transductor de desplazamiento sería usado, al ordenar establecer una señal de salida adecuada.

-Conductancia.- Al desear puntos de detección de nivel, el medio puede ser medido por la conductividad (o al cesar la conductividad) eléctrica entre dos probables lugares o entre un probable y el nivel del vaso.

-Capacitancia.- El medio puede ser medido adecuadamente como una

FALLA DE ORIGEN

variable dieléctrica entre dos placas capacitores. Dos sustancias forman una composición dieléctrica: el medio cuya medición es deseada y el espacio de vapor de arriba. La capacitancia total cambia cuando el volumen de un material se incrementa mientras que en el otro decrecimiento.

-Radiación.- La medición del medio se hace por la energía de radiación absorbida. Como en el método de capacitancia, el espacio de vapor arriba del medio que se mide también tiene un efecto en la medición, debido a su propia característica de absorción, la diferencia entre los dos es muy grande para hacer la medición.

-Sonar o ultrasonido.- El medio al ser medido refleja o afecta algunas otras maneras de detección, las señales de sonido de alta frecuencia generadas en apropiados lugares cerca del medio a probar.

Para la evaluación del método que se puede usar para una aplicación particular, ciertas condiciones de operación, tales como el rango del nivel, característica del fluido, temperatura, presión y el estado del fluido alrededor del área de operación deberán ser conocidos:

3.4. VELOCIDAD

La velocidad como variable en los procesos industriales, se refiere normalmente a las revoluciones de algún equipo giratorio. Una clase especial de transductores son usados para medir la velocidad y aceleración de objetos en proceso y pruebas industriales. Frecuentemente, estas variables no están bajo control específico pero son usadas para evaluar el

desempeño, durabilidad, y defectos de productos manufacturados y los procesos que producen estos productos.

El diseño de un transductor para medir el movimiento esta frecuentemente hecho a la medida del tipo de movimiento que sera medido. Podremos entender estos transductores si tenemos un claro entendimiento de los tipos de movimiento considerados.

Rectilíneo.- Este tipo de movimiento esta caracterizado por velocidad y aceleración los cuales están compuestos por segmentos de líneas de fuerza. De esta manera, los objetos pueden acelerar hacia adelante a una cierta velocidad, de acelerar hasta parar, en reversa, y así sucesivamente. Hay muchos tipos de transductores diseñados al manejar este tipo de movimiento. Típicamente, la aceleración máxima es menos de 10g, y el movimiento no angular (en una línea curva) es permitido. Es quizá también que la fuerza del movimiento no angular que es permitido. Es quizá también que la fuerza del movimiento angular, entonces varios transductores de movimiento rectilíneo puede ser usado, cada sensor solamente es una línea de movimiento.

Angular.- Algunos transductores son diseñados para medir solamente la rotación cerca de algún eje, tal como el movimiento angular de la flecha de un motor. Tal mecanismo no puede ser usado para medir el desplazamiento físico de la flecha completa, pero solamente su rotación.

Vibración.- En la experiencia normal de la vida diaria, una persona raramente experimenta aceleraciones las cuales varían desde 1 g por mas de un poco por ciento. Aun el severo medio ambiente del lanzamiento de un

coquete involucra aceleraciones de solo 1 g a 10 g. Si un objeto es puesto en un movimiento periódico cerca de algún punto de ese equilibrio, se haya que resultan varios picos de aceleración de esta magnitud es más importante para el medio ambiente industrial, donde la vibración es frecuentemente hallada en la operación de maquinaria. En general la vibración será algo de azar en el movimiento de frecuencia o periódico y la magnitud del desplazamiento desde el equilibrio. En términos analíticos, la vibración es definida en términos de un movimiento periódico regular donde la posición de un objeto en tiempo esta dado por: $x(t) = x_0 \cos \omega t$.

La definición de ω es como frecuencia angular. Si un objeto rota, definiremos el tiempo en que se completa una rotación como un periodo T y que corresponde a la frecuencia como: $f = 1/T$. La frecuencia representa el número de revoluciones por segundo y es medida en hertz (hz) donde $1 \text{ Hz} = 1$ revolución por segundo.

3.5. VARIABLES ELÉCTRICAS

Una gran mayoría de los dispositivos de medición utilizan algún principio eléctrico básico para su operación o cuentan con un dispositivo electrónico para las etapas intermedias, de modificación o final de lectura.

Las unidades de medida puramente eléctricas de mayor uso en la práctica son: La unidad de carga, definida como aquella carga que, al recorrer un conductor en la unidad de tiempo (1 segundo), determina una corriente de 1 A; la unidad de resistencia, llamada ohms, que representa la resistencia de un conductor que, recorrido por la corriente de 1 A, disipa en forma de calor la potencia de 1 Julio/seg, siendo el Julio la unidad de energía o de

trabajo y, por tanto, el trabajo de una fuerza de 1 Newton en el desplazamiento de 1 m a lo largo de su línea de acción; la unidad de tensión o diferencia de potencial que se puede obtener en los bornes de una resistencia de 1 ohm cuando la recorre una corriente de 1 A. Entre otras magnitudes que, si bien no son puramente eléctricas, aparecen en el estudio y en el empleo práctico de los aparatos eléctrico, es importante la potencia, que en los circuitos eléctrico resulta del producto entre la tensión aplicada y la corriente que circula, y se expresa en Julios/seg, es decir en Watts, como en mecánica; el flujo de inducción magnética, que viene dado dimensionalmente por la Ley de Lenz, como el producto entre una fuerza electromotriz y un tiempo y se mide en volt.seg, es decir, en Weber.

La energía que en el sistema absoluto se mide en Julios, por comodidad se mide en Watts-hora o en sus múltiplos. Un Watt-hora es la energía absorbida por un circuito o suministrada por un generador que, funcionando durante una hora, absorbe o suministra, respectivamente, durante dicho tiempo 1 W. Analogamente, son de uso común los caballos de vapor, CV, como unidades de potencia de los motores y de los generadores eléctricos.

3.6. OTRAS VARIABLES

Densidad.- La densidad puede ser definida como la masa por unidad de volumen, y se expresa en kg/m^3 en el sistema SI de unidades. La gravedad específica (la cual no es recomendada por el sistema SI) a menudo es usada como sinónimo de densidad, y definida como la razón de la densidad de un fluido en cuestión a la densidad de agua, a una temperatura específica.

Los métodos comunes de medición de densidad involucra burbujas de aire, desplazamiento, desplazamiento en tubos de U, vibración de los tubos de U y

técnicas de radiación.

Medición de p.H..- La eficaz acidez o alcalinidad de un líquido normalmente es expresada en pH. Un pH de 7 corresponde a una solución neutra. El pH se incrementa hacia 14 cuando la alcalinidad se incrementa y el pH se acerca a 0 cuando la acidez se incrementa. La reacción electroquímica que tiene lugar en el líquido, cuando un ácido es adicionado, consiste de un incremento en iones hidrógeno y un decremento en iones hidroxilos, donde los iones hidrógeno son positivos y los iones hidroxilos son negativos, es posible medir este cambio por métodos eléctricos. El más común método de medición usa electrodo de vidrio combinado con electrodo de referencia de calomel. El electrodo de vidrio contiene una solución buffer, la cual mantiene un cierto nivel de pH constante cuando un aumento limitado de sustancias ácidas o bases son adicionadas. La pared es de solo vidrio delgado y constituye una membrana entre la solución buffer y el líquido que se está midiendo. Un alambre de platino, recubierto con cloruro de plata, conecta la solución buffer al extremo del electrodo. La diferencia de potencial entre la solución buffer y el líquido problema, a través de la membrana de vidrio, es de un tamaño medible, menospreciando la resistencia alta de la membrana la cual puede estar arriba de los 100 M-ohmios.

Medición de humedad.- El termino "humedad" significa la concentración de agua en un gas, el cual usualmente puede ser aire. La máxima concentración de vapor de agua que podría existir en un gas depende de la temperatura del gas. La "humedad relativa" es la razón de la concentración actual a la concentración máxima posible a la temperatura prevalectante, y normalmente

FALLA DE ORIGEN

expresada en porcentaje.

Medición de una mezcla.- El término "mezcla" significa la concentración de agua líquida en un material sólido, y su medición es particularmente importante en las termoelectricas que usan carbon.

CAPITULO IV

APLICACIONES DE CONTROL AUTOMÁTICO EN TERMOELÉCTRICAS

4.1. INTRODUCCIÓN

La operación, explotación o conducción de la instalación termoeléctrica requiere del cumplimiento de las siguientes funciones: medición, protección, regulación, mando y accionamiento.

Las mediciones que se efectúan son de dos tipos: mediciones normales de operación que se realizan de modo continuo a intervalos regulares de tiempo y mediciones de verificación, control y aceptación que se efectúan en vista de las pruebas de comportamiento garantizadas, después de mantenimientos mayores, intervalos grandes de tiempo y para verificar y corregir los aparatos indicadores de medición normal.

La protección, tiene como fin observar o captar las desviaciones de operación de manera independiente para proteger la instalación de averías ocasionadas por estas desviaciones.

La protección se usa como señal informativa y es suministrada por el sistema de medición. En algunos casos la información se trata en la forma separada por la máquina (por ejemplo, en la protección contra sobrevelocidad de la turbina, un dispositivo centrífugo desconecta directamente el suministro del vapor).

La protección de unidades energéticas de gran potencia, consiste en un sistema completo, caracterizado por:

- Coordinación de las diferentes protecciones en forma unitaria, correlacionando el arreglo con la instalación de regulación automática
- Diseño de instalación por vía eléctrica, sobre todo en la protección contra sobrevelocidad en las maquinas rotativas
- Asegurar un mejor funcionamiento del sistema de protección utilizando esquemas de mayor redundancia
- Señalización selectiva del funcionamiento de las diferentes protecciones
- Verificación automática del funcionamiento de la protección con instalaciones especiales de funcionamiento automático con programa.

La protección de la instalación tecnológica se da, en forma semejante a la de instalaciones eléctricas, interviniendo tres estados de accionamiento:

- Por señalización (usualmente alarmas), si se sobrepasan parámetros que no significan un peligro inminente de avería
- Por reducción de carga, si se superan parámetros que pueden corregirse disminuyendo la carga
- Por desconexión, si el peligro de avería es inminente.

La coordinación del funcionamiento de la máquina con las necesidades del consumidor, el proceso es un proceso de regulación: ésta pueda ser manual o automática. Debido a las necesidades impuestas por el proceso tecnológico, en las plantas termoeléctricas modernas, se tiene un alto grado de regulación automática.

Los diferentes reguladores de funcionamiento automático, se pueden:

reunir en un solo grupo. De esta manera se crea un sistema de regulación único que, al ligar las reacciones recíprocas, acorta el tiempo de respuesta, aumenta la sensibilidad de regulación y optimiza el régimen de trabajo de la instalación.

En las plantas termoeléctricas se usan diferentes sistemas de regulación; últimamente se han generalizado los sistemas electrónicos con elementos transistorizados, que permiten una combinación más amplia y dan un tiempo de respuesta corto. Para calderas y aparatos químicos, la regulación neumática ofrece la ventaja de ser más robusto y poco sensible a la corrosión y humedad; en las turbinas se utiliza regulación hidráulica o electrohidráulica.

El mando y accionamiento de los elementos móviles de la instalación se efectúa frente al lugar, manual o remotamente; el accionamiento remoto puede ser hecho por medio manual o impulsos dados a la instalación de protección, regulación o automatización. El inicio a distancia, por lo general, es eléctrico, independientemente del tipo de elemento que ejecuta el trabajo mecánico de accionamiento (dispositivo hidráulico, con aire comprimido, con motor eléctrico o electromagnético).

4.2. LA AUTOMATIZACIÓN Y TIPOS DE CONTROL

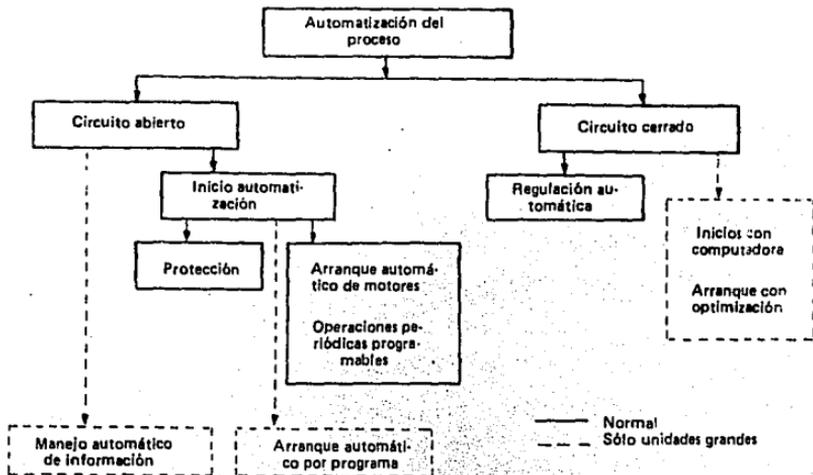
a). AUTOMATIZACIÓN

La finalidad primera de la automatización es que la explotación disponga de información exacta sobre el estado de las funciones de la instalación, que se elaboren operaciones de rutina, se eviten maniobras equivocadas y se dé protección a la instalación. Tiene los siguientes efectos:

-Conducción mas eficiente del proceso tecnológico.

-Aumento del rendimiento y disponibilidad de la explotación.

Además, se tiene el efecto secundario de reducir el personal de explotación. La automatización, puede aplicarse a todas las funciones de conducción. De acuerdo con el modo en que interviene en el proceso, es de acción indirecta o circuito abierto, y ligada directamente al proceso o circuito cerrado. En la siguiente figura se muestran las posibilidades de automatización en ambos tipos.



Las posibilidades de automatización, aumentan paralelamente al desarrollo tecnológico. El nivel razonable de automatización depende de consideraciones económicas; en unidades de mayor potencia las posibilidades económicas aumentan.

En circuito abierto, la automatización comprende la producción automática de una dimensión y el tratamiento automático de información.

La conducción automática en circuito cerrado se aplica a la dirección completa del proceso acoplado a la instalación, tanto a la parte de tratamiento o elaboración de información como a las partes de mando; este tipo puede aplicarse en la siguiente forma:

- Para una instalación, funciones o circuitos simples que se conducen independientes
- Para un grupo de funciones, es decir, para un complejo distinto de la instalación o funciones (por ejemplo: el conjunto de una bomba de agua de alimentación, condensado y auxiliares dentro de una instalación de tratamiento químico de agua). En este caso, la automatización incluye la totalidad de inicio de operación, regulación y protección, asegura la conexión de averías, manda las maniobras necesarias o controla la operación de aparatos con funcionamiento cíclico (como la regeneración o el lavado).
- Para un conjunto de bloques energéticos de producción. Asume el mando total del grupo de instalaciones, asegurando tanto el funcionamiento normal como los arranques y paros; en este caso, la automatización comprende programas o situaciones de inicios para ejecución secuencial, verificación (si se han efectuado las operaciones mandadas en forma secuencial) y en caso afirmativo ordenación del siguiente paso.

La automatización compleja en circuitos cerrados se puede aplicar a todos los tipos de grupos electrógenos. Se realiza por la vía convencional de relevadores, por esquemas lógicos o por computadora o calculadora; la automatización, asegura el funcionamiento de la instalación y las operaciones sucesivas de paros y arranques, sin la intervención del personal, de acuerdo con la consigna general prevista y de prosecución de funcionamiento, ejecutándose remotamente.

Las dimensiones características, obtenidas por medición, se introducen en el proceso directo; la acción sobre este es casi simultánea y su forma más rápida y más precisa (puede hacerse por observación y prosecución directa del personal). Estas posibilidades hacen que se respeten límites más exactos de dimensiones constantes prescritas.

La seguridad del trabajo de una instalación depende de la seguridad entera de conjunto de elementos que componen la automatización, desde los elementos periféricos de medición (aparatos, transmisores y contactos), hasta los aparatos internos de la instalación de automatización (esquemas lógicos, transistores y otros elementos electrónicos, además de la cadena eléctrica y cinemática de los elementos de accionamiento). Como los defectos de la automatización compleja ocasionan el paro de la instalación, en ocasiones se requiere duplicar las funciones de conducción y mando automático, lo que aumenta sensiblemente la inversión.

Ligados a la introducción progresiva de automatización, se instalan subgrupos funcionales independientes, en una planta termoeléctrica pueden existir cerca de 30 de estos.

Para operar una planta termoeléctrica se realizan las siguientes funciones:

- Recopilar datos
- Correlacionar datos para obtener información
- Correlacionar la información para producir una decisión
- Implementar la decisión para crear una acción deseada.

La información obtenida puede analizarse más fácilmente si los datos de la planta se dividen en tres categorías:

- 1.- Datos de operación
- 2.- Datos de comportamiento
- 3.- Datos históricos

Los datos de operación, son guías para la continuidad del servicio y la seguridad del personal y del equipo.

Los datos de comportamiento, indican la economía de la operación y dan información para determinar que parte de la planta no trabaja en forma óptima o cercana.

Los datos históricos no tienen uso inmediato, pero se colectan para estudios, análisis y predicciones de mantenimiento.

Los tres tipos tienen en común que, mediante manipulaciones, convierten los datos en información útil, pero cada uno requiere diferente manejo para alcanzar su uso óptimo.

b). NIVELES DE AUTOMATIZACIÓN

1. Planta con control centralizado y controles automáticos que operan en forma independiente. El control automático clásico; algunos de estos controles son:

- Control de combustión
- Agua de alimentación
- Velocidad del turbogenerador
- Voltaje del generador
- Recirculación de la bomba de agua de alimentación, para protegerla de

sobrecalentamiento a bajas cargas

- Control de drenes de las extracciones de los calentadores
- Control de presión y temperatura de hidrógeno del generador
- Control de presión y temperatura del aceite lubricante.

2.- Planta con detección automática. La computadora, tabula, detecta y computa rutinas para presentación inmediata al personal de operación, promedia los valores e integra los administraciones; algunas de estas computaciones son:

- Consumo térmico unitario (heat rate) en forma instantánea y horaria
- Consumo térmico unitario neto óptimo (o el mejor posible para la carga) temperatura de agua de circulación y temperatura ambiente existente.
- Entalpías de agua y vapor necesarios para los balances térmicos.
- Eficiencia de la caldera
- Comportamiento del condensador
- Comportamiento de cambiadores de calor
- Comportamiento del turbogenerador
- Comportamiento de la torre de enfriamiento en caso de utilizarse
- Sobreutilización de equipos auxiliares
- Promedio de presión de vapor, temperatura de vapor, etc., por hora o diarias
- Integración de flujo de agua de alimentación, gas combustible, KW-h, etc.
- Correcciones de medidores por calibración, error, temperatura y presión
- Forma de cambio de la temperatura de metal, por ejemplo de turbinas.

FALLA DE ORIGEN

11

Esta forma de operar puede reducir el personal de operación necesario y acarrear mejoras en el comportamiento de la planta. También proporciona registros históricos, mejora la confiabilidad y precisión de los datos, ayuda en la supervisión de operación, incrementa la eficiencia de operación de la planta con personal sustituto, disminuye la probabilidad de salidas de equipo, mejora la valoración de requerimientos y reduce la necesidad de pruebas especiales periódicas de caldera y turbina. Este sistema proporciona herramientas útiles a los operadores, sin embargo, el grado en que se logra mejora el comportamiento, depende de como el personal de operación utiliza la información que se le proporciona.

3.- Planta automática. La computadora y controles asociados verifican, arrancan, monitorean, operan, paran, o ajustan el equipo en forma necesaria para seguir las demandas de carga mientras mantienen eficiencia óptima. La economía de un sistema como el descrito implica economía en las siguientes áreas:

- Operadores humanos
- Ahorro de combustible
- Reducción de la posibilidad de daños a equipos mayores
- Reducción en el mantenimiento de equipos mayores
- Eliminación de errores
- Beneficios intangibles.

FALLA DE ORIGEN

4.3. CONTROL DE COMBUSTIÓN.

Se puede definir como un sistema de instrumentos de medición, aparatos de control y dispositivos de seguridad que se instalan en un generador de vapor con los siguientes propósitos:

- 1.- Suministrar aire y combustible al hogar de acuerdo con la demanda de vapor para mantener su presión constante.
- 2.- Mantener la relación aire-combustible para obtener la máxima eficiencia en la combustión con el exceso de aire deseado.
- 3.- Distribuir la demanda total de vapor entre las diferentes unidades, cuando se operan en paralelo.

Los diferentes elementos que integran el sistema de control pueden ser automáticos e interconectados, manuales e independientes o cualquier combinación de unos y otros. En cualquier caso la combustión se regula de acuerdo con la demanda de vapor que requiere la coordinación de las variables vapor, agua, combustible, aire y gases de combustión.

Vapor.— Siendo la función de un generador producir vapor en la cantidad que se requiera, esta será la variable independiente cuyo impulso operará el sistema de control. La combustión se regulará para mantener la presión del vapor constante, ya sea en el domo o a la salida del sobrecalentador, siendo éste último el más común.

La alimentación de combustible varía directamente con el flujo de vapor, sin embargo, la evaporación es función únicamente del calor liberado en la unidad y éste a su vez, de las condiciones bajo las que efectúa la combustión; incluyendo por lo tanto, varios factores en una correcta

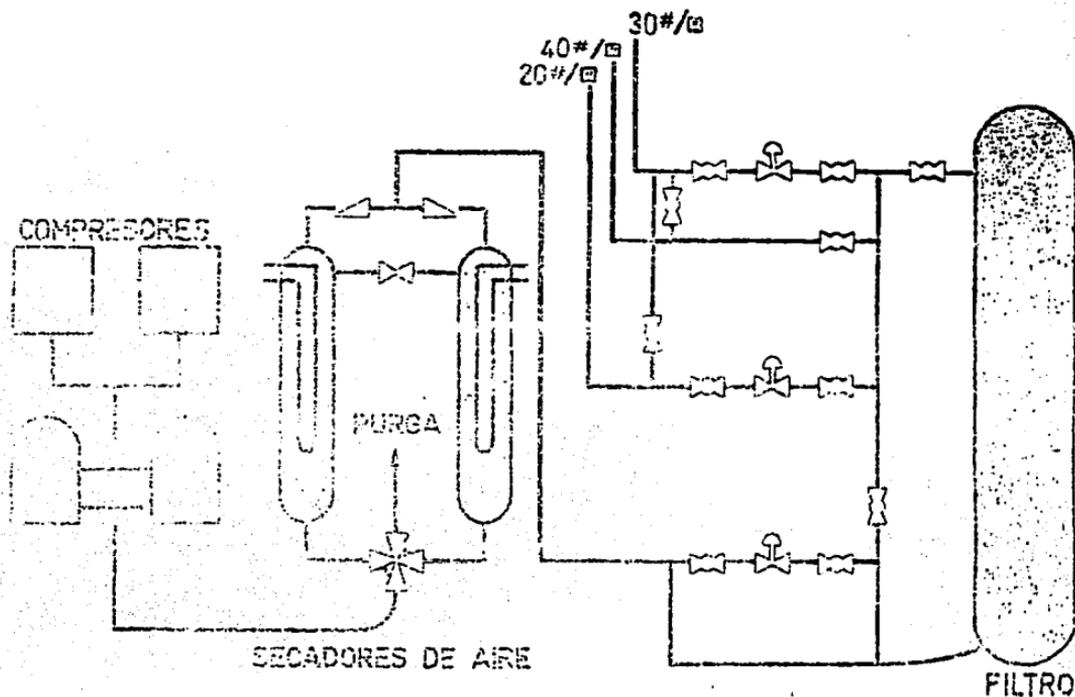


FIG. Nº 1- DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UN SISTEMA DE AIRE CONTROL.

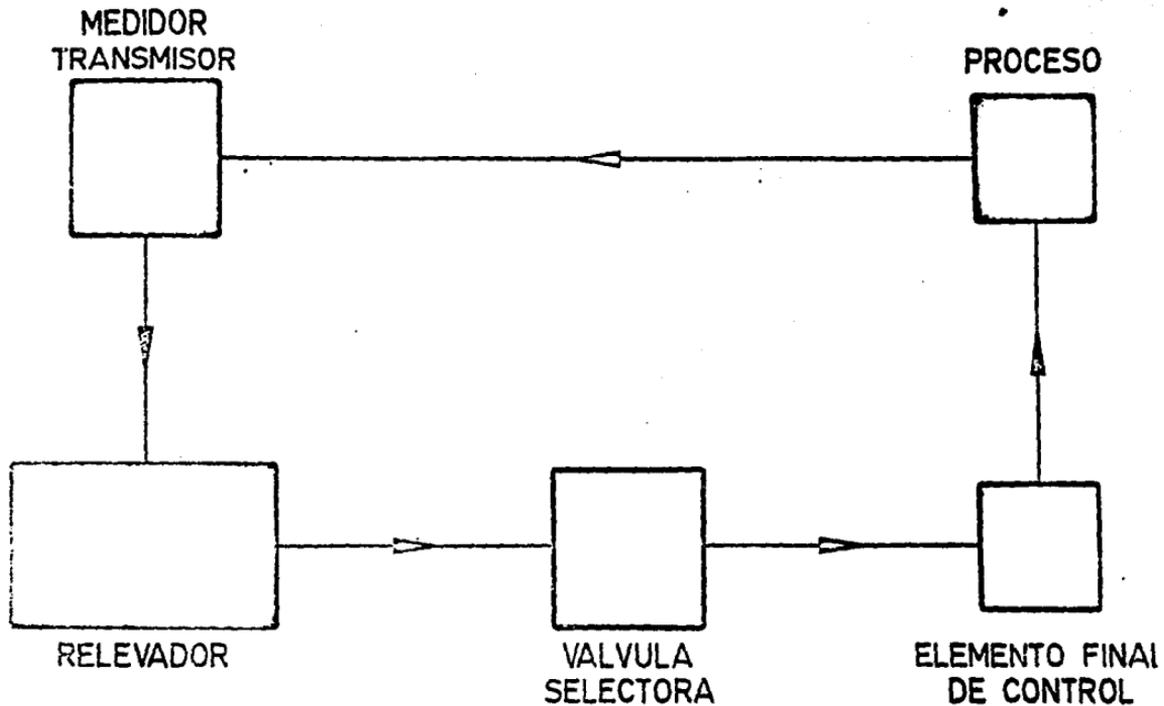


FIGURA Nº 2

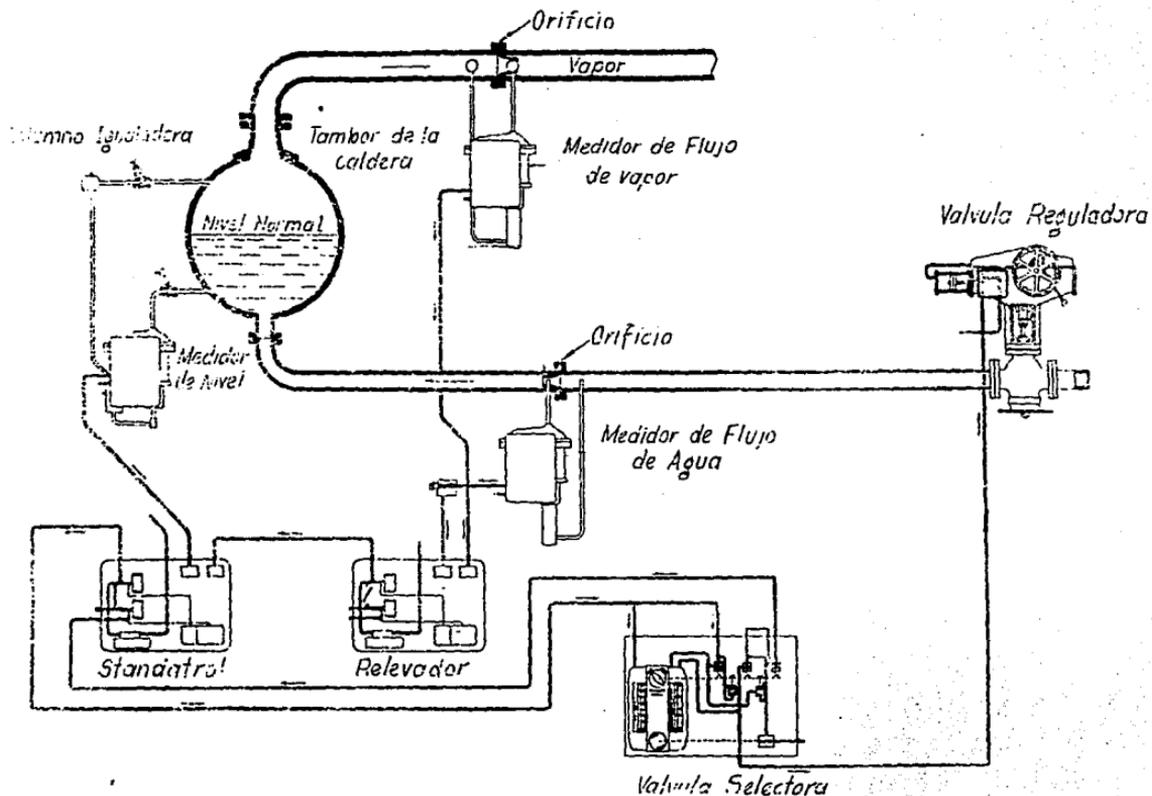


FIG. Nº 7.- CONTROL DE AGUA DE ALIMENTACION DE
TRES ELEMENTOS

combustión, que son: tipo de combustible y método empleado para quemarlo.

Quando se quema petróleo, el suministro deberá ser a presión constante y el control a los quemadores se efectúa por medio de una válvula controladora. Quando se emplea vapor para su atomización, la presión del vapor será controlada en paralelo con la del petróleo.

La temperatura del combustible es de gran importancia ya que deberá mantenerse entre ciertos límites para conseguir una buena combustión. Esto se conseguirá con un sistema de control totalmente independiente.

En el caso de quemar gas; la presión de la línea de gas a la caldera, se regula mediante una estación reductora para mantenerla constante a cualquier flujo y posteriormente será alimentado a los propios quemadores por medio de una válvula regulador de control, variando la presión y el flujo a diferentes cargas.

Aire para la combustión.- El flujo de aire y regulación están ligados íntimamente al control del combustible y deben mantenerse a una proporción definida a cualquier carga.

El control de aire para la combustión puede efectuarse estrangulando la descarga de los ventiladores variando la velocidad de éstos ó por combinación de ambos.

La temperatura del aire tiene importancia con respecto a la combustión y aumento de la eficiencia de la caldera en instalaciones de mediana y gran capacidad, ésta será controlada por las características propias de los precalentadores de aire.

Gases de combustión.- Constituye el medio de conducción de una gran parte de calor liberado en la caldera después de efectuada la combustión y

sirve como guía de las condiciones efectuadas de dicha combustión.

Operación del control de combustión.- Todos los sistemas de control de combustión operan por acciones proporcionales y de reposición o combinadas, variando el aire y combustible de acuerdo con la oscilación de presión del vapor en cualquier demanda.

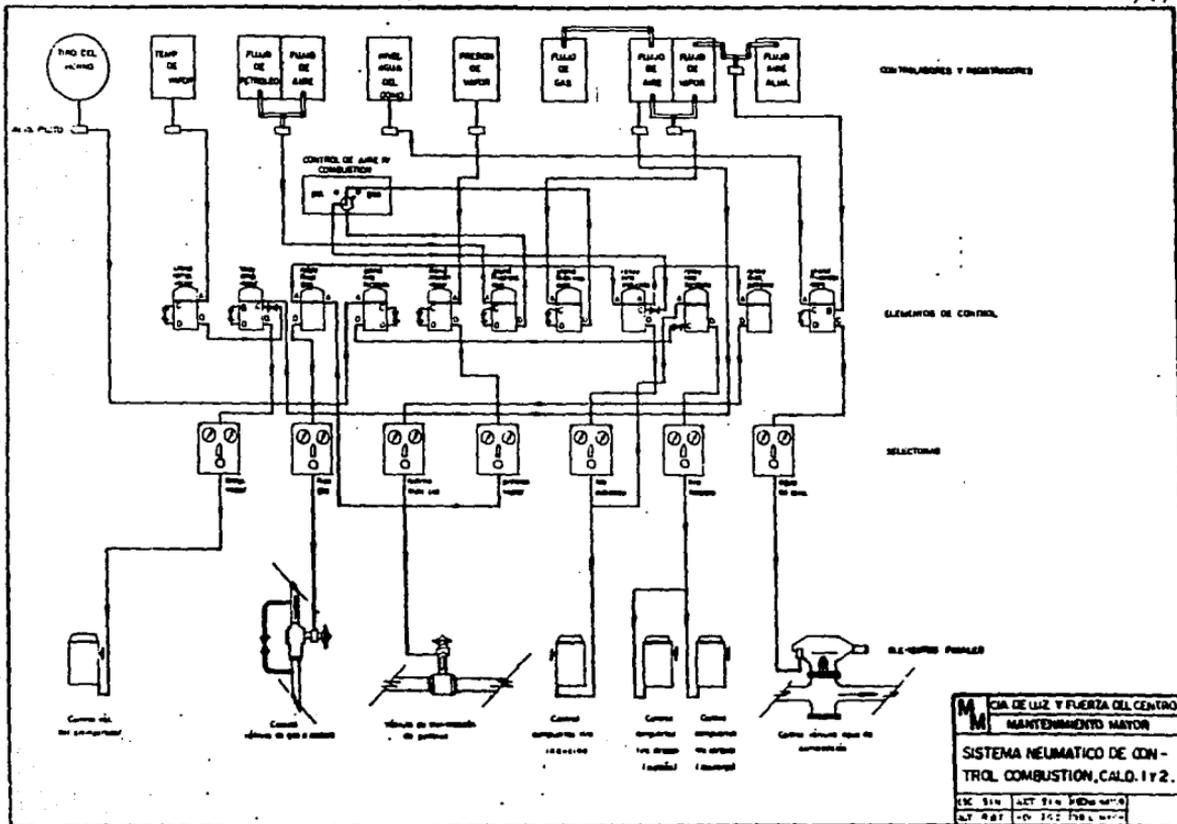
Los instrumentos de control de aire y combustibles tienen por razones de diseño diferentes características, por lo que, dichos instrumentos deberán tener medios de operar un elemento con respecto al otro, a fin de conseguir variaciones proporcionales para el mismo cambio en la señal de control.

Una combustión correcta se obtiene cuando se quema totalmente un combustible, haciendo uso de determinado exceso de aire. Para controlar este exceso de aire es necesario instalar un analizador-registrador de gases de combustión, en el que obtendremos porcentajes volumétricos de monóxido de carbono y oxígeno, valores que serán registrados constantemente y que servirán no solamente como medio de comprobar las condiciones verdaderas del hogar, sino también para conocer a fondo la habilidad individual del fogonero.

Cuando el tamaño de la planta no justifique la compra del instrumento registrador, se aconseja efectuar revisiones frecuentes con un Orsat, que es un analizador portátil.

El control de combustión podemos dividirlo en tres partes:

- El que depende de las variaciones de la presión de vapor.
- El que mantiene una presión negativa en el hogar.
- El que regula la relación aire-combustible para que la combustión sea correcta.



M	CIA DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO		
	MANTENIMIENTO MAYOR		
SISTEMA NEUMÁTICO DE CONTROL COMBUSTION, CALD. 1 y 2.			
ENC 514	ACT 514	PROY 514-0	
DT 487	OP 102	TR 102	

4.4. CONTROL DE LA TEMPERATURA DE VAPOR

En todas las plantas de vapor y especialmente en plantas generadoras de fluido eléctrico, operan con vapor sobrecalentado y el suministro se hará a una temperatura constante ya que de lo contrario los cambios de temperatura del vapor se reducirá en esfuerzos y deformaciones internas, tanto en la caldera como en la unidad generadora. Para obtener la temperatura del vapor constante se deberá tener un equipo de instrumentos diseñados para esta función, los que operarán a la unidad motriz y esta directamente al atemperador, previendo temperatura excesivas en los elementos de sobrecalentamiento de la caldera.

4.5. CONTROL DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN

El control de alimentación es sumamente importante, primeramente por su aspecto de dispositivo de seguridad para la caldera, además permite disminuir esfuerzos, por la acción intermitente de agua, esto va en beneficio de eficiencia de la caldera y la obtención de vapor de mejor calidad.

De los diversos tipos de controles de agua de alimentación, se eligió en este caso los operados por relevadores.

En los sistemas operados por relevadores los tenemos en tres tipos, según la capacidad de la caldera y que a continuación se describirán.

Sistemas de control de un elemento.- En este sistema se mide el nivel por diferencia de presión entre dos puntos del tambor, el medidor opera con

FALLA DE ORIGEN

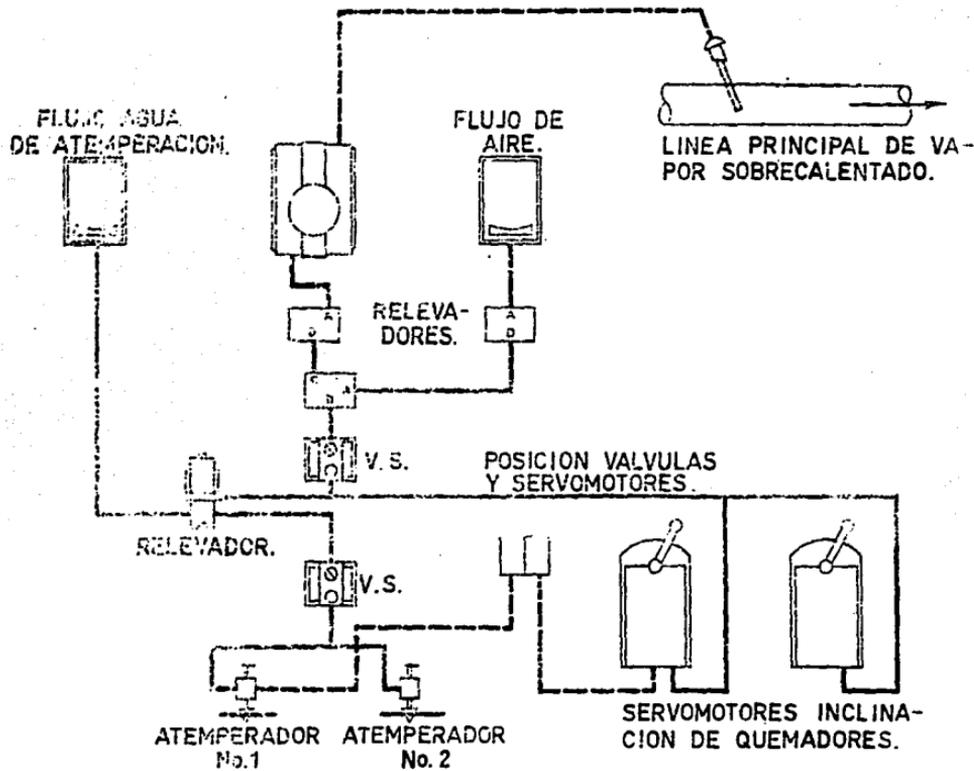
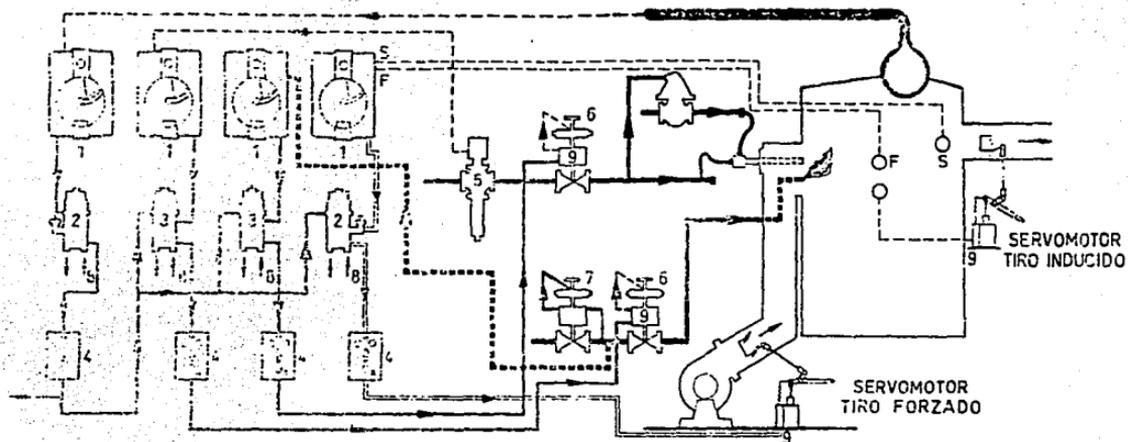


FIG. No.8.- DIAGRAMA DE CONTROL DE TEMPERATURA DE VAPOR, CON ATEMPERACION E INCLINACION DE QUEMADORES.

E. Hugues G.



- 1 - CONTROLADOR
- 2 - STANDATROL
- 3 - RELEVADOR
- 4 - CONTROL MAESTRO
- 5 - MEDIDOR
- 6 - VALVULA DE CONTROL
- 7 - REGULADOR DE PRESION

8 - 30# / \square
 9 - 40# / \square

-  GAS
-  VAPOR
-  PETROLEO
-  AIRE

FIG. Nº 9 SISTEMA DE CONTROL DE COMBUSTION

transmisor neumático que envía su señal a un relevador de acción reposicionadora y la señal modificada se ésta pasará a través de la válvula selectora a la válvula de control.

Sistema de control de dos elementos.- En el sistema de dos elementos se introduce una señal proporcional al flujo de vapor como impulso estabilizador, es decir, la válvula regulador de agua de alimentación actuará por variación en el flujo de vapor y por variaciones de nivel en el tambor, ya que el medidor de vapor es el primer elemento en registrar un cambio en la demanda, la acción de la válvula se anticipa a la variación en el nivel.

4.6. CONTROL DE LA VELOCIDAD

Reguladores de velocidad en turbinas de vapor.- El control de velocidad en una turbina de vapor, debe de obedecer, a las características propias de este tipo de máquinas.

Normalmente, trabajan con altas velocidades y por tanto, altos esfuerzos periféricos, esta característica de su diseño impone limitaciones bastante estrechas en cuanto al exceso de velocidad; normalmente, la sobrevelocidad aceptable en un turbina de vapor, no debe exceder al 10% de la velocidad normal.

Para lograr este efecto, el accionamiento de los reguladores de velocidad, debe ser lo más rápido posible. Esta característica se logra con cierta facilidad y sin complicaciones, debido a que el medio de energía es vapor y por lo tanto, comprimible, o sea, que no existe el peligro del golpe de ariete.

FALLA DE ORIGEN

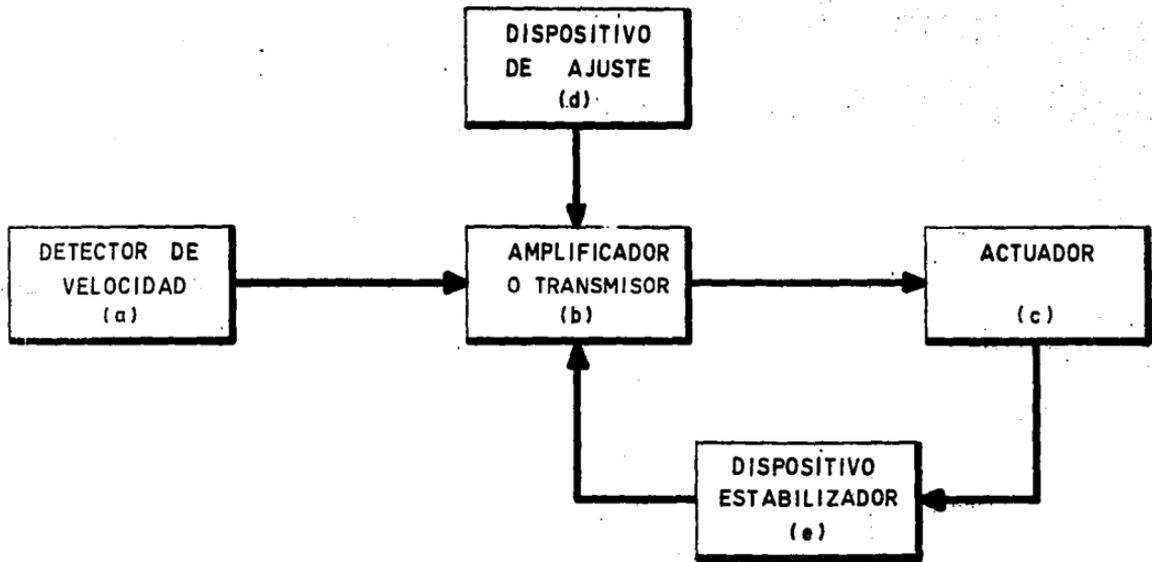


FIGURA Nº 1 - ESQUEMA DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DE UN REGULADOR DE VELOCIDAD

j. c. b.

El arreglo del regulador de velocidad y los controles de la turbina que estan bajo su mando, debera ser en tal forma, que en casos de un rechazo total de carga, aparte de cortar la alimentacion principal de vapor, cierra tambien las extracciones y entradas de vapor recalentado si las hay, dejando el minimo de vapor posible dentro de la turbina y ductos ya que el efecto de la expansion de este, solo podra ser contrarrestado por el momento de inercia de las masas de rotacion.

El regulador de velocidad debera mantener la velocidad en condiciones normales, dentro de ciertos limites, en forma estable y sin oscilaciones, aun cuando la carga varie.

El regulador de velocidad de una turbina que mueve un generador electrico, debera permitir la operacion estable en paralelo de los generadores. Los componentes esenciales de un regulador de velocidad, son los siguientes: (figura)

- a). Elemento detector
- b). Amplificador de la señal o transmisor
- c). Dispositivo actuador
- d). Dispositivo de ajuste
- e). Dispositivo estabilizador

Existe una gran diversidad de formas y disenos para uno de los dispositivos antes dichos y que han sido producto de diferentes ideas, marcas y patentes.

El elemento detector, que puede decirse que es el cerebro del regulador de velocidad, se ha desarrollado en la actualidad basado en varios principios de operacion.

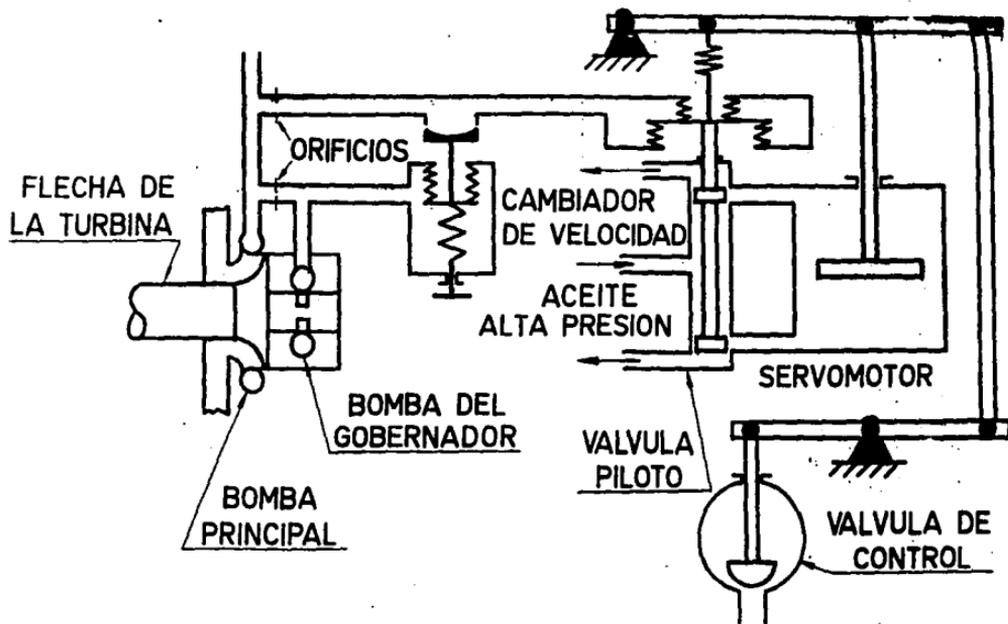
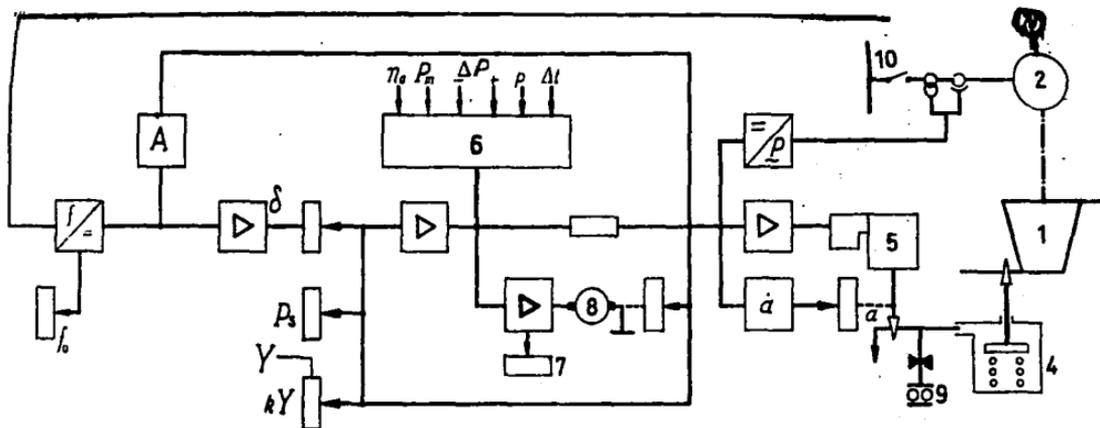


FIG. N.º 3 SISTEMA HIDRAULICO Y REGULADOR DE MAQUINAS 4 Y 5 DE NONOALCO.

J. AVILA L.



f_0 = AJUSTE DE VELOCIDAD O FRECUENCIA.
 P_3 = AJUSTE DE CARGA.
 AY = CONTROL SALIDA CARGA DEL SISTEMA.
 A = INTERCEPTOR DE VALVULA DE CONTROL.
 1 = TURBINA.
 2 = GENERADOR.
 3 = TACOGENERADOR. (Generador de imán permanente).
 4 = SERVOMOTOR.
 5 = TRANSDUCTOR ELECTROHIDRAULICO.

6 = CONTROL DE LIMITACIONES.
 7 = AJUSTE DEL GRADIENTE DE CARGA.
 8 = MOTOR PARA EL GRADIENTE DE CARGA.
 9 = BOMBA DE ACEITE.
 10 = RED ELECTRICA.
 P_m = POTENCIA MAXIMA.
 ΔP = VARIACIONES DE CARGA.
 p = PRESION DE VAPOR.
 Δt = TEMPERATURA DEL VAPOR.

FIG. No. 4.- ESQUEMA DE UN REGULADOR ELECTRICO.

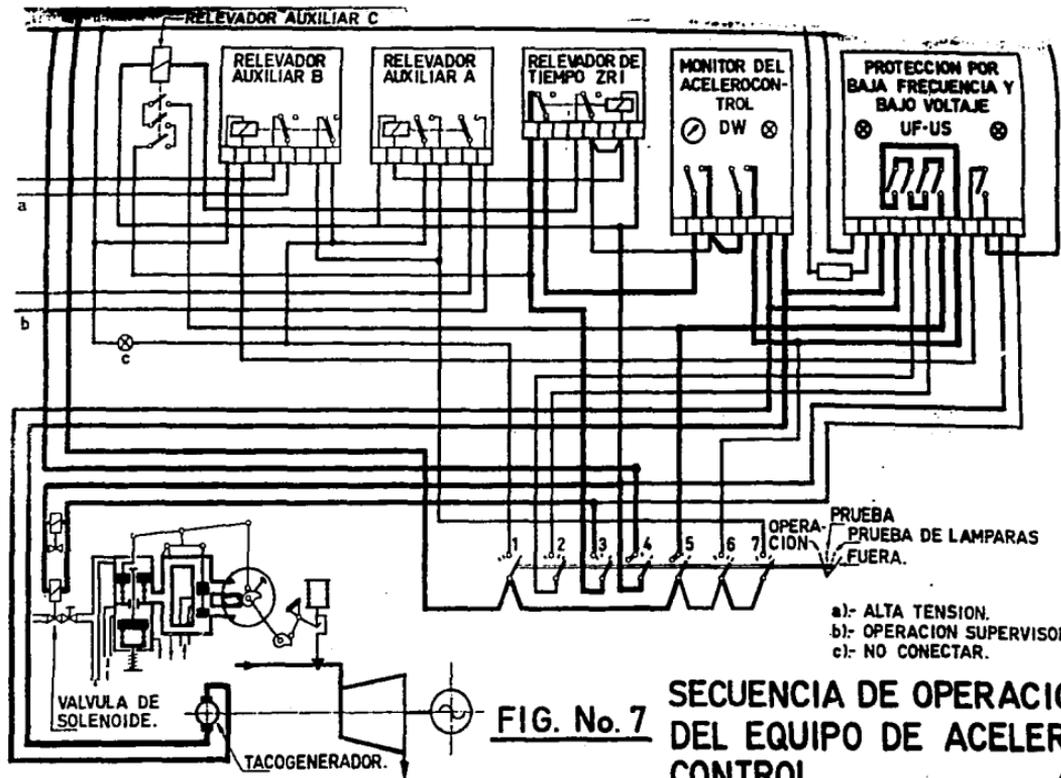


FIG. No. 7

**SECUENCIA DE OPERACION
DEL EQUIPO DE ACELERO-
CONTROL.**

El más antiguo y también el más común de todos es de contrapesos sostenidos por un resorte, y que al girar, lo vencen por fuerza centrífuga. Este movimiento es el que se aprovecha como señal, ya que guarda relación directa con el cuadrado de la velocidad.

La señal, amplificada normalmente por medios hidráulicos y convertida en acción mecánica por medio de servomotores hidráulicos que van a corregir las condiciones del medio de energía.

El regulador de velocidad eléctrico, que en la actualidad está logrando gran desarrollo, debido a que se logra con cierta facilidad, una gran sensibilidad, necesaria para los grandes sistemas y una gran diversidad en operaciones automáticas.

En las turbinas de vapor, se está logrando un gran avance en su operación automática por medio de este tipo de reguladores, ya que el propio regulador protege a la turbina contra esfuerzos térmicos altos, limitando las variaciones bruscas de carga tomando éstas de acuerdo con las curvas características de la propia turbina.

Estos reguladores constan esencialmente de un generador eléctrico piloto de imanes permanentes, directamente conectado a la flecha de la unidad y el voltaje generado por este, sirve como señal. A través de un sistema amplificador, y de válvulas piloto, se convierte en señales hidráulicas para lograr el accionamiento de válvulas y controles.

4.7. OTROS SISTEMAS DE CONTROL

Control de temperatura de vapor.- El sistema de control de temperatura de vapor se diseña para controlar automáticamente la temperatura de salida de vapor sobrecalentado de 40 a 105%.

Para controlar la temperatura de salida de vapor sobrecalentado se tendrán tres variables:

- Temperatura final de vapor sobrecalentado
- Temperatura de salida del atemperador
- Índice de carga.

La atemperación se hará a la entrada del sobrecalentador final.

La temperatura de vapor recalentado será controlada con recirculación de gas de combustión. Para ello se tendrá un ventilador de recirculación de gas con compuertas de control en la succión. La atemperación en el recalentador se limitará únicamente a casos de emergencia.

Control automático de quemadores.- Este sistema se diseña para obtener una operación segura de equipo para quemar combustible a través de un control lógico, con operación de falla del lado seguro y soportada por aparatos apropiados.

Las funciones básicas de este sistema son la prueba de fugas en el aceite combustible como parte de la purga antes del encendido, apagado y cierre de quemadores individuales con trabajo de rutina suplementario, detección precisa y segura de la flama. La secuencia de disparo de la caldera se incorporará en el sistema de relevadores de protección de la unidad.

Controles misceláneos sub-redes. Se incluirá el equipo necesario para el control automático de niveles de calentamiento, nivel de pozo caliente del condensador, nivel del deareador, recirculación del condensado,

temperatura de hidrógeno del generador, temperatura de aceite lubricante de la turbina y otras sub-redes misceláneas que normalmente se encuentran en una planta de energía.

Se considerará cuidadosamente los requerimientos dinámicos de los sistemas de control y se incorporarán márgenes adecuados en su diseño y en el dimensionado para asegurar una operación. Los parámetros de control se seleccionarán de acuerdo con cada aplicación específica.

FALLA DE ORIGEN

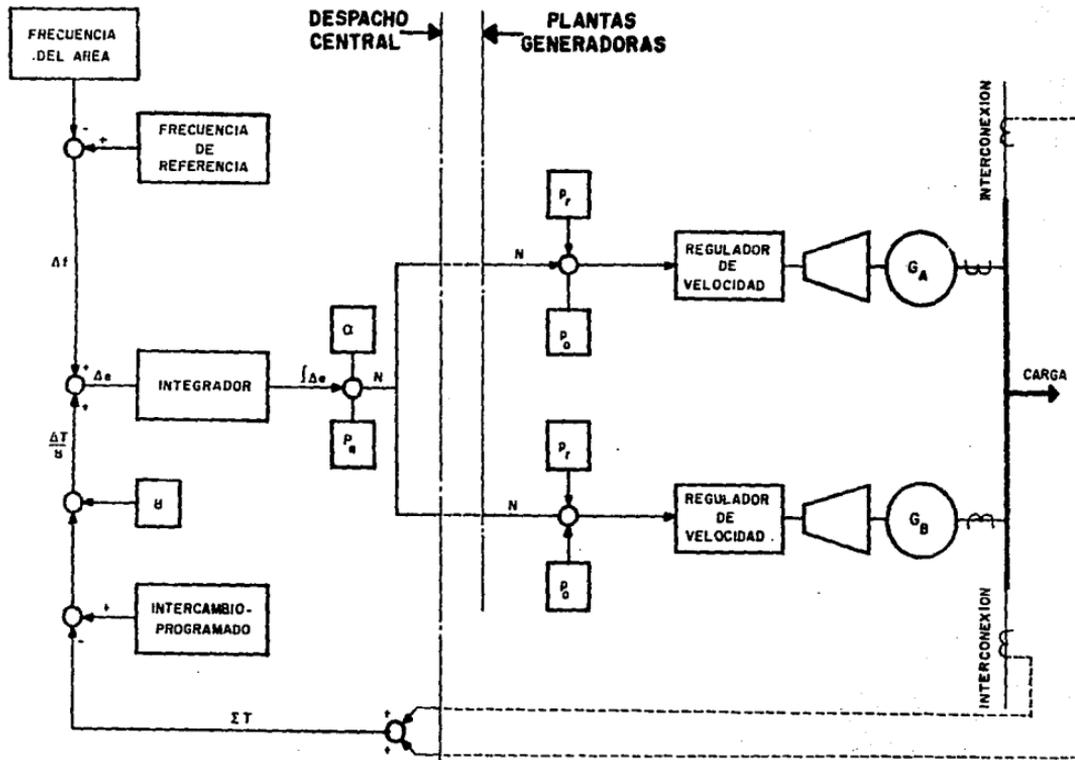


FIG. 1.14 CONTROL DE AREA SIN DESPACHO ECONOMICO

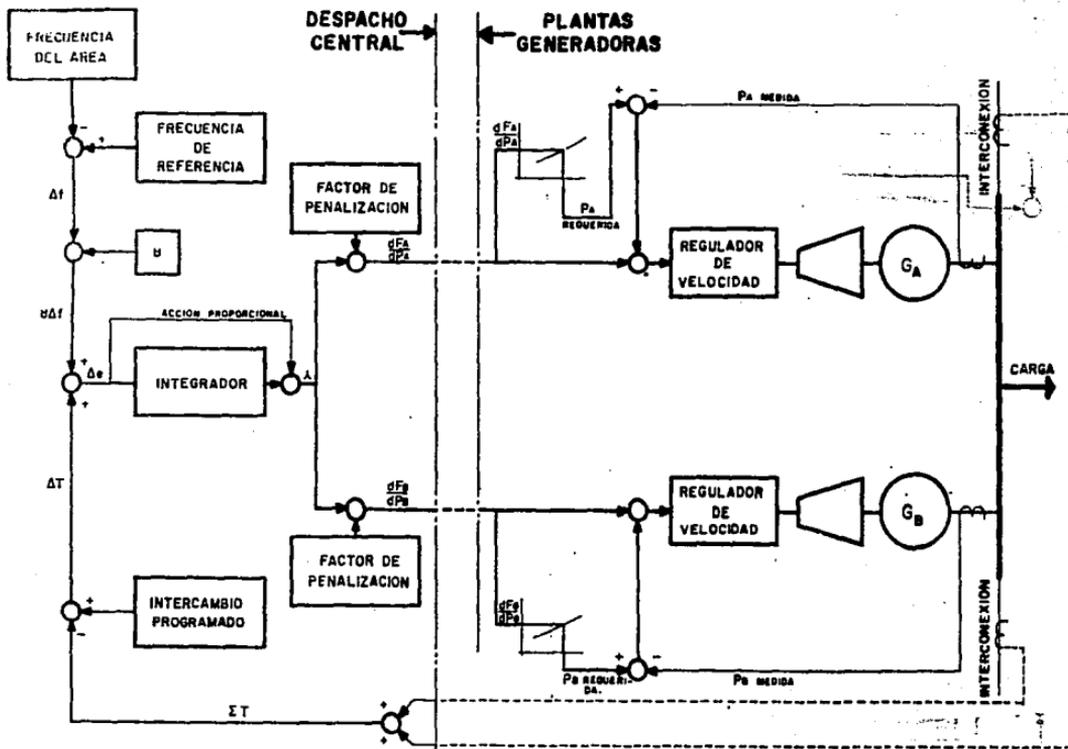


FIG. I.15 CONTROL DE AREA CON DESPACHO ECONOMICO. TIPO "a"

FALLA DE ORIGEN

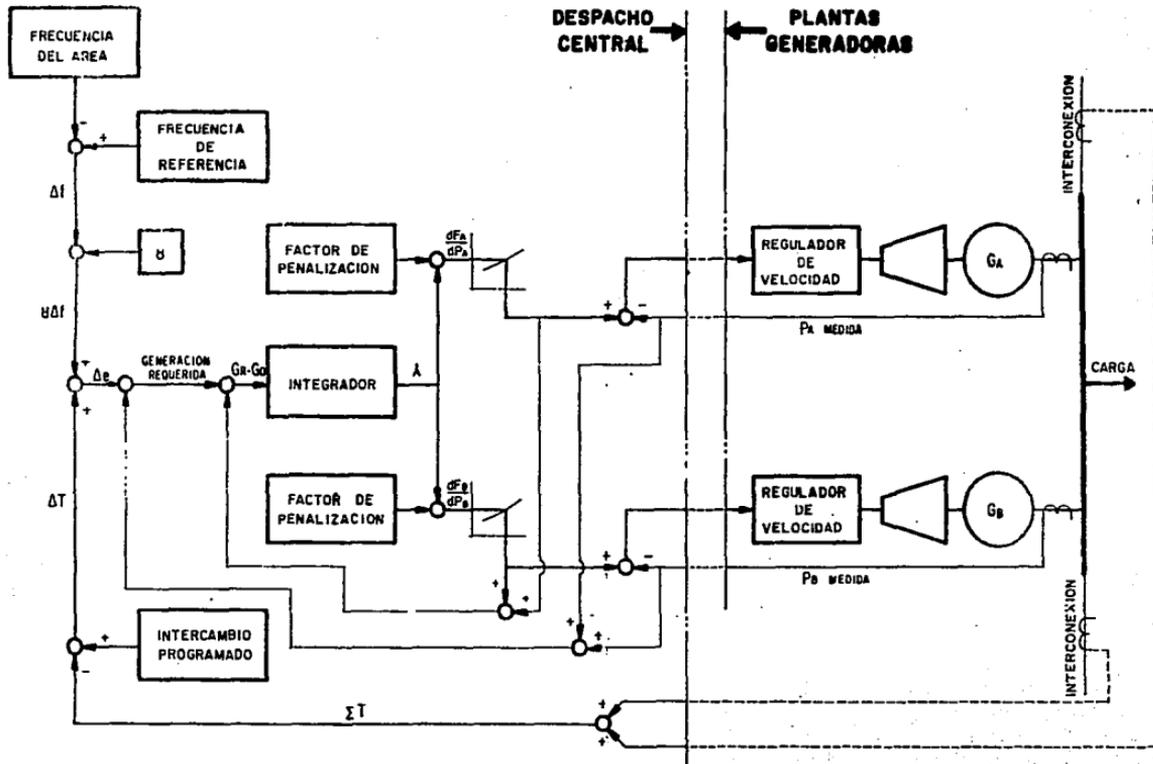


FIG. I.16 CONTROL DE AREA CON DESPACHO ECONOMICO. TIPO "b"

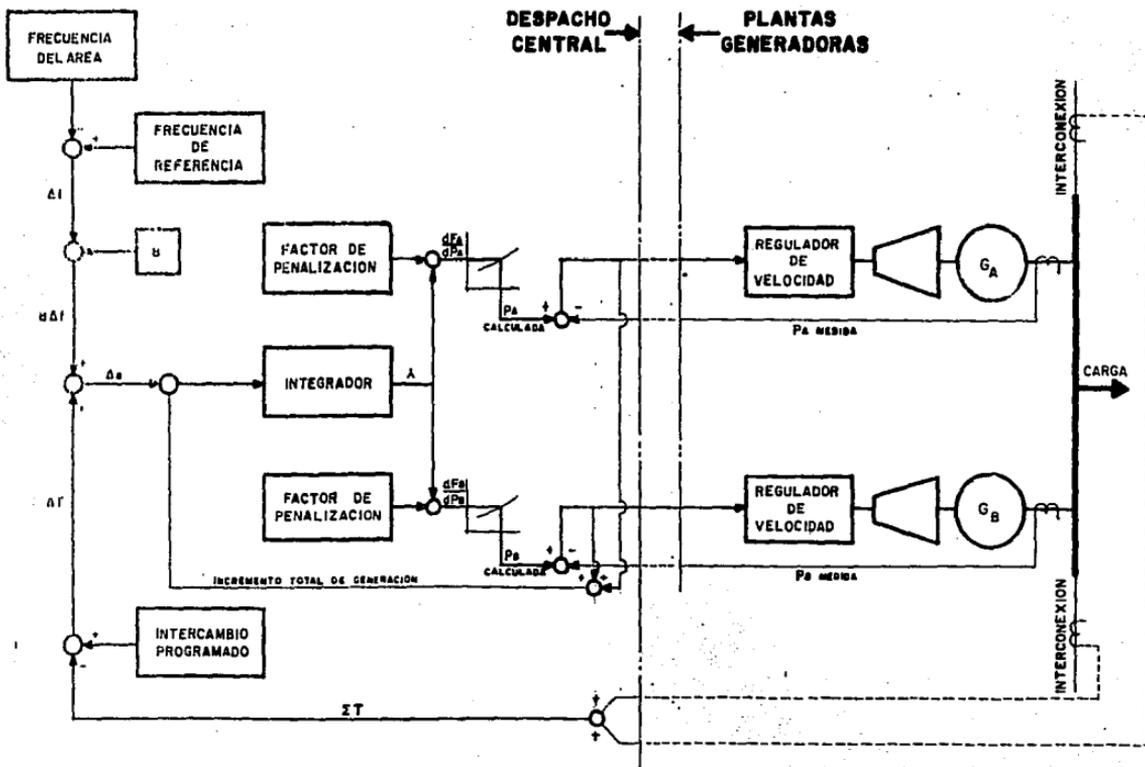


FIG. I.17 CONTROL DE AREA CON DESPECHO ECONOMICO. TIPO "c"

CAPITULO V

EL CONTROL AUTOMÁTICO MODERNO APLICADO A TERMIELECTRICAS

5.1. INTRODUCCIÓN

Con la aparición de las máquinas de vapor se originó la necesidad de la medición de variables como presión, temperatura, etc., creándose así la instrumentación.

En su inicio fue mecánica y posteriormente neumática. En la década de los 50's comenzó una rápida evolución de los componentes electrónicos, lo cual vino a impactar en la instrumentación industrial. Las primeras computadoras aplicadas al control comenzaron a comercializarse a finales de los 60' y su potencial fue rápidamente observado, sin embargo su uso se limitó por el alto costo de estos equipos.

Con la introducción de las minicomputadoras a finales de los 60's, un amplio rango de sistemas computacionales (hardware), empezó a estar en disponibilidad, reduciendo los costos y haciendo posible incorporar la computadora a muchos campos en los cuales previamente no era posible.

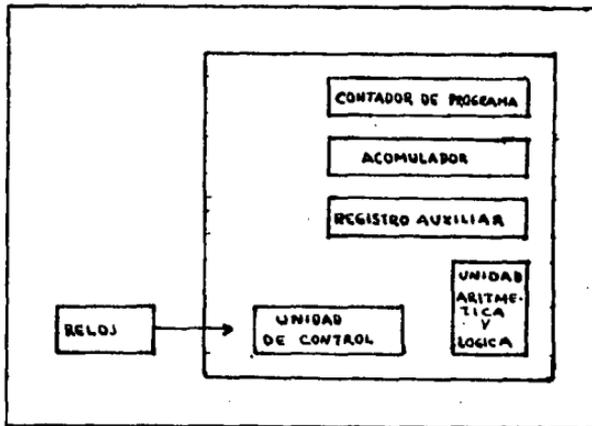
5.2. LOS MICROPROCESADORES

Aunque los microprocesadores aparecieron en el mercado en la década de los 70's, están abriendo nuevos caminos y posibilidades en un amplio abanico de nuevos equipos industriales, sistemas de automatización, control

numérico de máquinas herramientas, sistemas de adquisición de datos, balanzas electrónicas, manipulación de piezas mediante robots, inserción de componentes, vigilancia de la contaminación y fotocomposición.

Un microprocesador es un sistema que explora secuencialmente una información almacenada, llamada programa, lo interpreta y lo ejecuta. ES un descendiente directo de la computadora y que se desarrolla para la cuarta generación de la misma.

A la unidad central de procesamiento concebida como una estructura de una dirección, se le conoce precisamente como microprocesador y su esquema básico a bloques es:



Unidad aritmética y lógica..- Es un circuito combinacional que realiza diversas operaciones con uno o dos operandos (suma, resta, operaciones lógicas, corrimientos), asociados a la UAL, se encuentra un registro codificado de condiciones, que corresponden a varios flip-flops cuyas condiciones de salida las determina el resultado de la última operación realizada por la UAL, e indica si hay o no acarreo, sobreflujo, medio

acarreo, si el resultado es cero o negativo. También esta interrelacionada con uno o varios acumuladores que básicamente son registros que pueden recibir y mantener el resultado de una operación aritmética y lógica de un contenido previo y algún otro número.

Contador de programa.- Es un registro que contiene la dirección de la siguiente instrucción a ejecutar, para ello se incrementa al realizar cada instrucción. En una instrucción de salto condicional, el contenido del contador de programa se reemplaza por una dirección específica en la propia instrucción. En un salto condicional dicho reemplazo ocurre si una condición predeterminada tiene lugar.

Registro de instrucciones.- Recibe cada instrucción y la almacena durante su ejecución. El decodificador de instrucciones es un circuito combinacional cuyas salidas determinan el curso de la ejecución de la instrucción leída.

La unidad de control.- Consiste en un grupo de flip-flops y registros que regulan la operación de todo el sistema, haciendo que los diferentes eventos ocurran en la secuencia adecuada al ejecutar la instrucción correspondiente. Las señales que recibe son:

- a) Señal de reloj
- b) Salida del decodificador de instrucciones
- c) Señales de restablecimiento, libre y solicitudes de interrupción o mantenimiento de dispositivos externos
- d) Señales internas de control que disparan a otras unidades internas y establecen trayectorias de datos y transferencias de datos dentro del microprocesador

- e) Señales de reloj para sincronización
- f) Señales de habilitación para solicitudes de interrupción y otras señales del estado del microprocesador y los buses.

La memoria.- Cada unidad almacena información (programas y datos) que después suministra a los otros subsistemas, al ser demandada una información específica por parte de la C.P.U. Usualmente se organiza en 2 diferentes grupos de celdas individuales, donde cada grupo corresponde a n bits (n palabras de m bits), existiendo un dispositivo de acceso que nos permite leer la información contenida en una palabra específica o bien modificarla. Para ello cada palabra de memoria lleva asociada una dirección que la distingue de las demás.

El proceso de acceder al contenido de una localidad de memoria requiere de un registro de direcciones de memoria (MAR) que conserva la dirección de la localidad de memoria durante el tiempo requerido para efectuar la operación de lectura o escritura según sea el caso y un registro de datos (MDR), que mantiene el dato que se va escribir o conserva el dato leído en la localidad de memoria accesada.

Ciclo de trabajo del microprocesador.- La función asignada a la unidad central de procesamiento (CPU), es la de captar las instrucciones contenidas en la memoria y ejecutarlas a continuación hasta completar el total del programa correspondiente. Este proceso lo efectúa de manera sincrónica, o se emplean pulsos procedentes de un reloj, que generalmente es un oscilador electrónico estabilizado a cristal, para dar la cadencia de funcionamiento de forma tal que los eventos que deben tener lugar conforme a una cierta secuencia, ocurran de manera ordenada y sin ambigüedades.

El microprocesador ejecuta una instrucción completa en cada ciclo de trabajo, mismo que involucra dos estados:

- a) Un estado de búsqueda en el cual genera los impulsos adecuados para leer la instrucción guardada en memoria.
- b) Un estado de ejecución, en el cual genera los impulsos necesarios para efectuar la instrucción.

Los sistemas basados en microprocesador ofrecen una gran flexibilidad para adaptar los sistemas de fabricación a la demanda del mercado continuamente cambiante y para optimizar estos sistemas cuando la producción aumenta.

La proliferación de aplicaciones en los últimos años es asombrosa. Actualmente se ha cubierto un amplio espectro que parece no tener límites y que abarca las telecomunicaciones, la industria, productos de consumo, el comercio, la instrumentación y los ordenadores. Dentro de este espectro de aplicaciones se pueden citar sistemas tan variados como el control del proceso de una termoeléctrica, controladores de comunicación, terminales inteligentes, instrumentos autocalibrados, etc.

La causa del gran impacto de los microprocesadores es sin duda el grado de elaboración que ha alcanzado la tecnología. El sorprendente incremento en la capacidad de la lógica y de las memorias ha ampliado considerablemente el número de aplicaciones debido a su bajo costo.

Los microprocesadores ofrecen:

1. Una gran flexibilidad para resolver los problemas que se presentan en las diversas aplicaciones.

FALLA DE ORIGEN

2. Posibilidad de cambiar el diseño o añadir nuevas opciones modificando tan solo los programas almacenados en la memoria ROM.
3. Reducción de costos en muchas aplicaciones en las que docenas de circuitos integrados puedan reemplazarse por unos pocos chips.
4. Mayor fiabilidad debido fundamentalmente a la reducción del número de componentes y por tanto del número de interconexiones.
5. Grandes facilidades para la diagnosis, reparación y mantenimiento de los equipos.
6. Disminución considerable del consumo de potencia y menos problemas de disipación de calor.

La importancia de los microprocesadores en la industria podría resumirse diciendo que los próximos años aquellas industrias que no hayan incorporado microprocesadores en sus nuevos productos estarán dedicadas a una aplicación muy especial o abran dejado de ser competitivas en el mercado.

Las características clave de un microprocesador condiciona de un modo muy determinado su campo de aplicación son las siguientes:

- Longitud de palabra
- Arquitectura
- Velocidad
- Flexibilidad de programación
- herramientas disponibles para el diseño
- Interrupción.

Nos fijaremos especialmente en la longitud de palabras como elemento condicionante en muchas aplicaciones. Los requisitos en cuanto a longitud

de palabras, vienen impuestos por el número de bits en paralelo de las entradas y salidas, la precisión que se necesita en los cálculos, la longitud de los caracteres o la resolución de los convertidores analógicos-digitales.

La elección de un microprocesador para una aplicación dada depende del costo, flexibilidad, características de "performance" y de las necesidades de la aplicación.

En muchos casos la velocidad no es elemento determinante, pero si un microprocesador es más veloz que otros (suponiendo que los otros factores sean iguales) tiene naturalmente una ventaja para cubrir un campo más amplio de aplicaciones.

La aparición de los microprocesadores ha permitido una reducción drástica en el diseño y la realización de sistemas de control de procesos de una termoelectrónica. Los microprocesadores se usan ahora en la automatización de pequeños sistemas que antes se realizaban mediante relés, temporizadores electromecánicos o circuitos lógicos con componentes discretos.

Las ventajas obtenidas más importantes son:

1. Mayor capacidad
2. Mejor rendimiento
3. Costos menores
4. Gran flexibilidad para construir sistemas, permitiendo cubrir un amplio campo de aplicaciones mediante pequeñas modificaciones del software.

La manipulación del complejo instrumental en un laboratorio o en la

FALLA DE ORIGEN

misma plante (generadores de impulsos, osciloscopios con memoria de barrido o con retraso en el barrido, sistemas de adquisición de datos, etc.) requiere un conocimiento detallado de su manejo y de ciertas técnicas avanzadas. Hoy día los microprocesadores han influido decisivamente en la aparición "de instrumentos inteligentes" que liberan al operador de muchas tareas rutinarias.

Por grandes que parezcan las realidades logradas, los microprocesadores producen ahora una revolución en el mercado de los instrumentos de medida, todavía mayor y que sus posibilidades aumentan día a día.

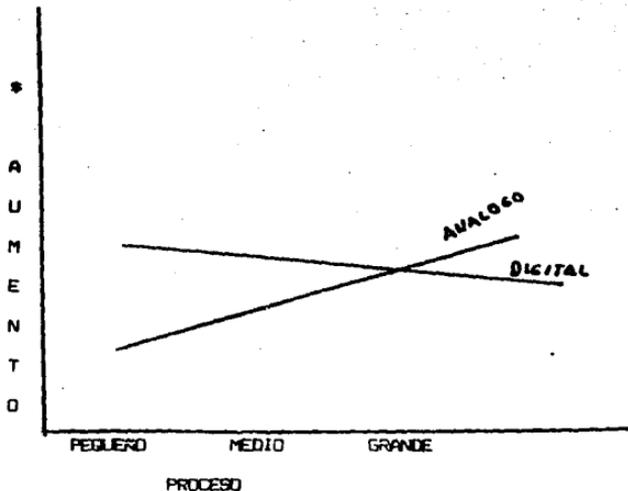
Los microprocesadores se utilizan para el control calibrado, cálculos con los datos medidos, toma de decisiones, test y mantenimiento de los instrumentos de medida.

Actualmente existen microprocesadores en forma de bloques modulares que se integran casi invisiblemente dentro de los instrumentos. El instrumental está evolucionando progresivamente hacia la operación digital. Para conseguir esta digitalización del instrumental se necesita desarrollar sensores y transductores con salida digital.

5.3. CONTROL DE LOS PROCESOS DE UNA TERMOELECTRICA POR COMPUTADORA.

La computadora de control viene a reducir el tradicional tablero de control por una compacta consola del operador, reduciendo costos de instalación y pruebas en el arranque y realizando la función de control en forma eficiente y versátil. Sin embargo la computadora de control no justifica su aplicación en cualquier tipo de proceso.

La figura muestra una comparación de costos aproximados vs tamaño del proceso.



COMPARACIÓN DE COSTOS ANALOGO VS DIGITAL

Como se observa para procesos de pequeña magnitud es más costeable la utilización de instrumentación analógica (neumática o electrónica) y para proyectos de mediano y gran tamaño se va incrementando la rentabilidad de la computadora de control de procesos.

La implementación del control por computadora de una planta es un problema desafiante en la ingeniería de sistemas, debe darse una detallada consideración al análisis de los costos, la definición de sistemas, el control, el diseño y la estrategia, así como la instalación e implementación.

La computadora digital suministra un dispositivo programable, que toma decisiones para las aplicaciones del control. El equipo puede ir desde equipo flexible, máquinas de propósito general, que operen en time-sharing

(comparten el tiempo de computadora) con una multitud de tareas, hasta equipo con un propósito especial, diseñado para llevar a cabo una tarea particular. El aspecto más importante de la computadora digital de propósito general es poder almacenar y sacar información en una manera prescrita. Además del cálculo, la computadora digital de propósito general puede hacer decisiones lógicas, adaptarse a condiciones variables y finalmente, aprender.

Existe una variedad de conceptos sobre el control a través de la computadora digital, los cuales se han empleado. Se consideran un número de posibilidades en orden creciente del grado real de control por la computadora. El primer enfoque puede llamarse control fuera de línea (off-line) por medio de la computadora y se ilustra en la siguiente figura:

En este caso la computadora se utiliza como un dispositivo de computación para ayudar al operador en la toma de decisiones; este puede servir en una de dos capacidades; puede realmente cerrar el ciclo alrededor de la planta y suministrar la realimentación primaria manipulando las funciones de entrada, o puede ajustar los puntos fijos de los controladores con señales de realimentación que vienen directamente de los sensores.

Dos tipos de control por medio de computadora representan un primer intento de incorporarla en una relación de control más directo. El control mediante una computadora programada coloca a la computadora en control del

FALLA DE ORIGEN

proceso siendo el operador quien cierra el ciclo. De la observación, el operador remete los datos operantes a una computadora por los cuales este manipula las señales del proceso a través de una conversión digital-analógica o por medio del control directo de pulsos programados. La forma más completa de control por computadora es cuando ésta se emplea para cerrar el ciclo, o muchos ciclos, dentro del proceso. La figura representa esquemáticamente el concepto de control de ciclo cerrado por medio de la computadora.

Componentes de un sistema de control.- A finales de la década de los 70's se hizo popular en el medio industrial el concepto de control distribuido, que consiste en una red de controladores digitales diseminados en las distintas áreas de la planta y que son capaces de intercambiar información entre sí. Para lograr el objetivo de control en un sistema de control digital se cuentan con los siguientes elementos funcionales.

- 1.- Interfase con el operador
- 2.- Interfase con el proceso
- 3.- Control del proceso
- 4.- Comunicaciones
- 5.- Administración del proceso.

Interfase con el operador.- El sistema de control deberá contar con dispositivos capaces de proporcionar al operador información detallada de las condiciones de operación. Además a través de esta interfase el operador proporcionara comandos o programas de control al sistema.

Para lograr lo antes mencionado se cuenta con los siguientes dispositivos:

- a) Pantalla de video con teclado de funciones fijas de operación sencilla
- b) Pantalla de video (terminal) con teclado alfanumérico para la generación del sistema.
- c) Graficadores
- d) Panel de alarmas
- e) Impresoras

Interfase con el proceso.- En un proceso industrial existe una gran variedad de requerimientos de mediciones así como el envío de manipulaciones (señales de control). La interfase con el proceso involucra dos fases: la conversión A/D y D/A. En la conversión A/D se deberán acondicionar las distintas mediciones análogas multiplexarse y convertirse a un valor digital para poder así ser procesada por la computadora.

En la conversión D/A se cambia el valor digital a un valor análogo generalmente del rango de 4-20 mA. y aperturas y cierres de contactos

Control del proceso.- Existen dos diferentes tecnologías para lograr el objetivo de control.

- 1.- Utilizando controles analógicos supervisados por una computadora (control dedicado).

2.- Utilizando la computadora para efectuar, la función de control (control compartido).

En ambos casos la información del proceso se enviará al operador a través de su interfase para ser graficada, alarmada, etc..

Cuando utilizamos controles analógicos para efectuar la función de control existirá un controlador por cada lazo sencillo de control; es decir, existirá un control "dedicado" a cada Lazo.

Cuando utilizamos una computadora para realizar la función de control la computadora efectúa un multiplexeo en todos los lazos a controlar dando como resultado un control "compartido".

Comunicaciones.- Implementar un sistema de control integrado y efectivo es usualmente un problema debido a la dificultades de transmitir grandes cantidades de información a gran velocidad entre subsistemas.

Las comunicaciones en un sistema de control la realiza un subsistema basado en microprocesador cuya única función es verificar que la comunicación se realice en forma confiable y permitiendo flexibilidad en adicionar o retirar elementos del sistema.

Podemos comparar la función de este sistema de comunicación con una central telefónica, la cual se encarga de permitir la comunicación entre extensiones (grupos) y además permite llamadas de larga distancia (comunicación entre grupos o subsistemas)

Administración del proceso.- Una acertada decisión se debe mucho a la formación que se tenga disponible. En un proceso la mayor decisión de qué hacer, cómo y cuando hacerlo lo efectúa la computadora de control ya que cuenta con toda la información que adquiere a través de sus interfases con

el proceso y el operador.

Además de las decisiones de control con la información que posee la computadora puede generar reportes, control de inventarios, análisis estadísticos, programación lineal, etc..

5.4. PID O CONTROL DE TRES TÉRMINOS

Introducción: Controladores analógicos.- Los controladores de tres términos o PID han sido usados, por muchos años, como una solución estándar a los problemas de control, particularmente en aplicaciones de procesos. Brevemente, la señal de control puede ser compuesta por la suma de tres acciones separadas de control:

1. Proporcional
2. Integral
3. Derivable

Acción proporcional.- ésta, es la ley más básica de control; relaciona la señal de control a el error por la expresión simple:

Señal de control = ganancia x señal de error

$$m(t) = K_p e(t)dt$$

En las aplicaciones de control de procesos es usual referirse ala banda proporcional del controlador, P. La banda proporcional es expresada en porcentaje. La ganancia v la banda proporcional están relacionadas por:

$$K_p = 100/P.$$

Intuitivamente este parecido ofrece un esquema de control razonable: entre más grande el error, es más grande la acción de control. Aunque en

esencia esto es problemático. los desmejoramientos son usualmente requeridos, en acciones integral y derivable.

Acción integral.- La ley de control para la acción integral es:

$$m(t) = K_i \cdot e(t)dt$$

donde K_i es un factor de proporcionalidad.

La acción integral está introduciendo el incremento de la exactitud del sistema de control, lo cual es el mismo que reducir el error de el estado estable. Desafortunadamente, la acción integral incrementa la posibilidad de inestabilidad.

Acción derivable.- La señal de control bajo la acción derivable está dada por:

$$m(t) = K_D \, da/dt$$

donde K_D es un factor de proporcionalidad.

La acción derivable no tiene efecto en la exactitud, pero hace que se tenga una influencia de estabilidad en el sistema. Frecuentemente ha sido omitido en sistemas "ruidosos". La acción proporcional y derivable podría ser comparada con un filtro pasa-altas el cual tiene el efecto de amplificar el ruido de disturbios de alta frecuencia presentes en el sistema.

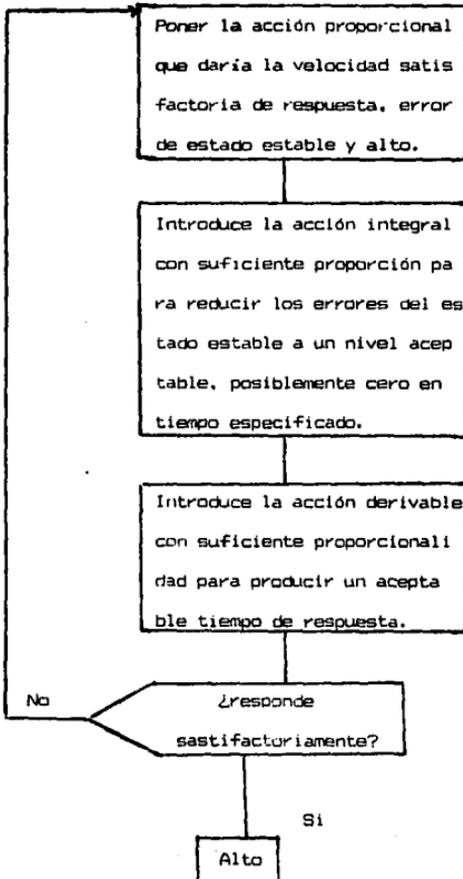
Estos aspectos de acciones de control integral y derivable puede ser verificado ambos por una análisis simple basado en la transformada de Laplace o por analogía simple de ejercicios de simulación.

Control PID.- Cuando las acciones proporcional, integral y derivable son combinadas, la expresión completa para la acción de control es como sigue:

$$m(t) = K_p e(t)dt + K_i e(t)dt + K_d de/dt$$

control = proporcional + integral + derivable

Quando ajustamos o sintonizamos un controlador PID es usual seguir el procedimiento siguiente mostrado. Ciertamente, desde la colocación de las tres variables involucradas, se requiere de una aproximación sistemática.



FALLA DE ORIGEN

5.5 CONTROLADORES PROGRAMABLES

Un sistema de proceso de una termoelectrica consiste en un grupo de máquinas, el proceso en si, almacenamiento y mecanismos de control. Al automatizar el sistema no solamente se hizo necesario en los mecanismos de control, sino también el flujo de información necesita ser automatizado. Hoy en día, cuando el mundo de la automatización aparece, mucha gente tiene la noción de un sistema controlado por computadoras. Sin embargo no es esta la forma de automatización usada en la industria moderna. Ademas del control sofisticado por computadora, hay convencionales mecanismos de control, tales como controladores mecánicos con levas y eslabonamientos, paneles de relevadores, controladores de control numérico (NC) y controladores lógicos programables (PLC).

Funciones de los controladores.- Las funciones de los controladores usados en sistemas de procesos están clasificados como:

1. Control de encendido-apagado
2. Control secuencial
3. Control de realimentación
4. Control de movimiento.

La más simple forma de control es el de encendido-apagado. El controlador desconecta un mecanismo de encendido-apagado basado en la señal enviada por un sensor. El control secuencial es usado para controlar una secuencia fija de eventos. Muchas operaciones se hacen a través de una

secuencia de eventos fijos. Cada evento tiene un periodo de tiempo fijo al completar o terminar una secuencia y que puede ser disparado por un censur. Para procesos que requieren más precisión en el control un mecanismo de realimentación es el indicado. El otro tipo de control que es a menudo usado es el control de movimiento.

Varios tipos de control son usados para satisfacer las necesidades de un proceso. Estos son: Control mecánico, control neumático, control electromecánico, control electrónico y control computarizado. En este orden, el uso, las desventajas y eliminar las dificultades de todos estos controladores fue como se inventaron los controladores lógicos programables.

Controladores lógicos programables.- Los controladores lógicos programables fueron primero introducidos como un sustituto para los paneles de relevadores. El original intento fue reemplazar un mecanismo de interrupción mecánica (modulo de relevadores). Bedford Associates (now the Modicon division the Gould Inc.) fue el primero que inventó el termino y patentó la invención. Sin embargo, desde 1968, la capacidad de los PLC ha ido en aumento significativamente. Aunque el propósito de los originales PLC ha sido reemplazar los paneles de relevadores, los modernos PLC tienen muchas más funciones. Su uso se extiende desde un simple proceso de control hasta el control y monitoreo de un sistema de manufactura. Son usados para procesamiento digital de altas velocidades, comunicación digital, soporte de lenguajes de computación de alto nivel y por supuesto para control de proceso básico.

La Asociación Nacional de Manufacturas Eléctricas (NEMA) define como controladores programables a "unos aparatos electrónicos que operan digitalmente, los cuales usan una memoria programable para almacenamiento

interno de instrucciones, para implementar funciones específicas con una secuencia lógica coordinada de conteo y control aritmético a través de módulos digitales o analógicos de entrada/salida para varios tipos de "máquinas y procesos". El computador digital, el cual es usado para ejecutar ordenes de un controlador programable está considerado dentro de su ámbito.

Esta definición implica que un PLC es un mecanismo de interfase electrónico usado para ejecutar operaciones lógicas en señales de entrada ordenadas para generar un grupo de señales de salida deseadas. Las entradas para un PLC básico típicamente son mecanismos de señales discretas tales como botones de contacto, microinterruptores, fotoceldas, interruptores de límite, interruptores de proximidad o mecanismos analógicos tales como termocapdores, voltímetros y potenciómetros. La salida desde un PLC básico está normalmente dirigido a interruptores para motores, válvulas, motores de arranque, etc.. PLC sofisticados pueden incluir un procesador matemático, una pantalla gráfica de color, puertos de comunicación en serie e interfases para redes de área o locales. No hay un alambrado de conexión directa entre las entradas y salidas. Más bien, las condiciones de interrupción de las entradas son convertidas en señales de nivel lógico que son enviadas a un computador digital en la unidad de control. Un programa almacenado en el computador especifica cuales salidas podrían ser energizadas en base al estado presente o pasado de la señal de entrada. El nivel lógico de la salida desde la unidad de control será convertida a un nivel de voltaje requerido para energizar o desenergizar a varios mecanismos de salida.

A la luz de la presente discusión, es claro que el rol de la unidad de control es de recorrer continuamente programas, poniendo las salidas

apagadas o encendidas dependiendo de las condiciones del interruptor de las entradas. El controlador por lo tanto puede ser provisto de un programa que defina las secuencias de interrupción deseada.

5.6. CONTROL DISTRIBUIDO

El proceso de desarrollo de los sistemas de control para una unidad de generación comienza con imponer una filosofía de diseño básico: por ejemplo el control coordinado, que se refiere a la estrategia en señales de control realimentado de carga con cambios en las señales de demanda de la caldera y turbina simultáneamente. La filosofía de control es la totalidad de conceptos en el cual están basados los sistemas de control de una planta de potencia y está hecha sobre los requerimientos, características, la experiencia con otras plantas similares y la evaluación de nueva tecnología. Un sistema de control distribuido integrado procesa los programas en una base local basada en la disponibilidad local de información sin considerar la segregación dada en los subsistemas. Lo primero que concierne a un sistema integrado es la fiabilidad entre este y la minimización de flujos de datos.

El propósito del control distribuido está basado en :

- El adelanto de la práctica común en el campo de la implementación de control y monitoreo de la planta de potencia.
- El perfeccionamiento de la gobernabilidad de una planta de respuesta a la demanda de carga
- El incremento de la disponibilidad de una planta a través del uso de la redundancia, mejor interfase hombre-proceso y un alto grado de

automatización

- Los bajos costos de instalaciones para la instrumentación y control a través del uso en expansión de la microtecnología avanzada, ahorro de cable y estandarización de hardware y software.

Los mejoramientos de arriba son realizados a través de instrumentación avanzada, sofisticada de algoritmos de control, un alto grado de automatización, una mejor interfase hombre-máquina y un incremento transparente de los sistemas de control y monitoreo a el operador.

El incremento de el uso de la microtecnología basada en los sistemas de control y monitoreo distribuido permiten utilidades al obtener un incremento significativo de la eficiencia y fiabilidad de la operación de una planta. Sin embargo, la nueva tecnología requiere de una revisión eficiente y continua del la problemática del control.

Las relaciones de los sistemas de control y monitoreo integrado pero totalmente distribuido se muestra en el esquema que sigue: el cual es una vista arquitectónica del control distribuido. Cada sección representa una función, mientras las líneas representan las interfases entre las funciones. Las secciones verticales representan funciones cuyo propósito es primeramente la comunicación mientras las secciones horizontales son aplicaciones orientadas.

5.7. SIMULACIÓN DIGITAL

Las computadoras electrónicas se han convertido en instrumentos valiosos para analizar sistemas de control, gracias a la simulación. Cualquier proceso, con subsistemas de control, se pueden simular programando una

computadora electrónica, de tal manera que contenga un modelo matemático del proceso y sistema de control. Este modelo matemático responde a las perturbaciones y los ajustes y modificaciones, en la misma forma que sucedería en un proceso real. No obstante, las respuestas se observan como variables de proceso o control automáticamente graficadas, impresiones de salida de datos de computadora digital en un ambiente de laboratorio, en lugar de hacerlo en el ambiente de la planta misma.

Por el significativo avance en tecnología de control e instrumentación, así como también el incremento de requerimientos de la demanda de las plantas de potencia, son muy grandes las necesidades por una extensiva y exhaustiva evaluación, a fin de ser capaz de diseñar e implementar un sistema de control exitos. Aunque un sistema de control ha sido definido como un medio efectivo que es requerido por un ingeniero de control, por la familiar y nueva tecnología de procesos.

Los nuevos requerimientos de ejecución y operación (seguridad, eficiencia, disponibilidad y características de respuesta) que se imponen en las modernas plantas de potencia están demandando cada vez más un sistema de control complejo.

En consecuencia, las necesidades para una evaluación exhaustiva y una selección cuidadosa de las estrategias de las configuraciones de control (convencional o avanzado) vienen a ser muy importantes y hasta inevitables. Sin embargo, la proliferación de equipos manufacturados de control y la continua evolución de tecnología están haciendo mas difícil que antes la evaluación y selección de las labores.

Por otra parte, durante la implementación de procesos de control en campo, las características altamente flexibles de los sistemas de control moderno demandan actividades adicionales relacionadas con los

FALLA DE ORIGEN

procedimientos de afinación, verificación del desempeño y optimización de varios esquemas de control.

Desde el punto de vista del diseñador, el incremento de las complejidades de los sistemas alrededor de las necesidades dadas, el conocimiento más profundo de las características de la planta, puede ser capaz de dar un diseño con todo los requerimientos de control apropiados que se limiten a una aplicación particular.

A la luz de lo de arriba expresado, el uso de un paquete de simulación como una manera de evaluación y diseño se convierte en una alternativa atractiva y efectiva. Tal paquete de simulación, podría dar al diseñador, al operador y al ingeniero de control de la planta bastante información y herramientas para llevar a cabo el diseño, selección y operación de los objetivos de la planta. Para que un paquete de simulación sea efectivo tiene que incluir un modelo de proceso y control cuidadosamente ratificado con una estructura modular flexible. Adicionalmente una adecuada prueba de análisis, síntesis, evaluación y rutinas de presentación de datos podría ser incluido en el paquete.

5.8. CONTROL ADAPTABLE

Los sistemas de control de una planta de potencia son usualmente diseñados en base de una entrada-salida simple, por esta razón tenemos un cierto grado de desacoplamiento a lo largo de las mallas, señales de adelanto son incluidas para alcanzar sus objetivos. Generalmente hablamos, que el algoritmo de PID es el más popular en este campo: ha respondido propiamente en estados estables y también durante transitorios, los cuales pueden ser de naturaleza severa. Su comportamiento podría ser realizado

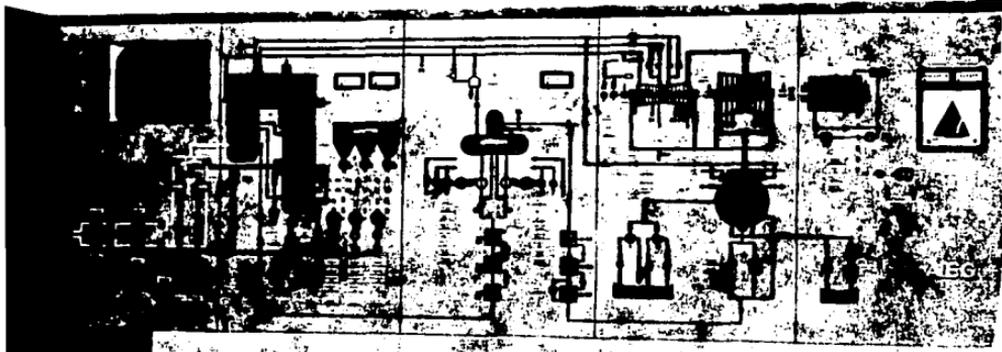
por una sintonización adecuada de los parámetros del controlador PID y una caracterización de estado estable de las señales de adelanto. Este proceso no es tan directo y al final, nada garantiza que estos parámetros hallados podrían ser bastantes buenos al proporcionar toda la variación de carga y con severa oscilación momentánea o con disturbios externos, tal que la unidad esté en alto sistema no lineal y la estructura del controlador esté fija. Una solución a este problema es considerar que el elemento de control de la planta de potencia sería adaptable a fin de realizar la regulación y requerimientos de respuestas transitorias.

El esquema adaptable usado es basado en un modelo de referencia multivariable o el controlador adaptable (MMRAC). Trabajos previos usando el algoritmo MMRAC en las temperaturas de vapor supercalentado y recalentado de una caldera de una planta de potencia muestra resultados promisorios comparados con el esquema clásico usando el algoritmo PID. Esta experiencia estimula la extensión del proposito de cubrir la parte principal de la malla de control en la planta de potencia. Las variables que podrían ser controladas usando este esquema son: presión, temperatura, temperatura de vapor de la línea principal, temperatura de vapor recalentado, nivel del domo y generador de potencia.

Las siguientes conclusiones podrían ser extraídas: Un esquema adaptable genera respuestas mas uniformes que con esquema clásico en algunas importantes variables de la planta. Aunque las respuestas de temperatura no están perfeccionadas con el control adaptable, el trabajo previo usando MMRAC hizo que se comparara con el esquema clásico: usando un modelo de referencia de primer orden no acaba de adecuarse bien en aquellas mallas, sin embargo, un modelo de referencia de segundo orden podría ser mas apropiado en un proceso dinámico. Considerando el esquema adaptable, los

cambios en un punto establecido o de demanda en una malla sería visto como un disturbio externo para el resto, produciendo un sistema desacoplado.

La complejidad de cada malla de control es reducida usando el control adaptable, ni señales adelantadas ni controladores en cascada son necesarios para compensar las variaciones externas. Solamente las salidas del proceso reguladas son requeridas como entradas en el MPRAC.



CONCLUSIONES

Conocimiento no aplicado, es un conocimiento desprovisto de su significado. Conscientes de fomentar y estudiar el desarrollo tecnológico aplicado al control automático del proceso de una termoelectrónica, hicimos un breve estudio de este conocimiento teniendo como objetivo tratar de obtener más información de las tendencias actuales del control automático de una planta termoelectrónica.

La tecnología necesaria para automatizar equipos y procesos ha venido evolucionando desde el desarrollo del control analógico de la década de los sesentas. Estos controles analógicos fueron utilizados como simples lazos control y presentan muy poca versatilidad para hacer mejoras y/o modificaciones. Las primeras computadoras de los años setentas fueron empleadas para hacer un control supervisorio, registro de datos y guías operativas.

La tecnología disponible actualmente, que se distingue principalmente por el desarrollo de los controladores programables, el control digital directo y computadoras digitales personales e interconectadas en redes, ofrecen una gran oportunidad para optimizar el uso de las instalaciones y procesos debido a que estos pueden ser llevados a sus límites máximos de desempeño.

Por todo esto, podemos concluir lo siguiente:

- 1.- El control automático es una condición necesaria hoy en día pero no

lo suficiente para la supervivencia de las plantas termoeléctricas.

- 2.- El control automático es una estrategia vital de competitividad en la industria eléctrica.
- 3.- El control automático es una herramienta que nos permite elevar los índices de productividad y calidad de una planta.
- 4.- Mediante el control digital se logra el máximo aprovechamiento del equipo de una planta. Además de tener el conocimiento tecnológico actualizado para implementar aplicaciones de control digital o de control con computadoras.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR RODRIGUEZ, MARTINIAND. Criterios de Diseño de Plantas termoelectricas. Ed. Limusa. 1981. México. p.p. 380.
- BALL, ROY AND ROGER PRATT. Engineering Applications of Microcomputers. Prentice-Hall Internacional. 1986. Great Britain. p.p. 367.
- BIBBERO, ROBERT J. Microprocessor in Instruments and Control. John Wiley and Sons. 1977. USA. p.p. 367.
- BOLLINGER, G, JOHN AND NEIL A. DUFFING. Computer Control of Machines and processes. Addison-Wesley Publishing Company Inc. 1988. USA. p.p. 613.
- CELMA, RICARDO A. Reguladores de Velocidad y Aceleración-Control de Turbinas de Vapor. Cia. De Luz y Fuerza del Centro. S.A. México.
- FERNANDEZ DEL BUSTO, R; a. SANCHEZ C.; R. URBIETA. Model Reference Adaptive Control of a Power Plant Unit. Instituto de Investigaciones Electricas. Cuernavaca, Morelos. México.
- HARRISON, HOWARD L.; JOHN G, BOLLINGER. Controles Automáticos. Ed. Trillas. 1969. México. p.p. 576.
- HOLZBOCK, G, WERNER. Instrumentos para Medición y Control. CECSA. 1984. México. p.p. 446.
- IEEE. Standard Applications Guide. Distributed Control and Monitoring for Power Generating Stations.- Progress Report. Dansk Consulting Services, Inc. New York, N.Y.
- JOHNSON, D. CURTIS. Process Control Instrumentation Technology. John Wiley and Sons. 1982. USA. p.p. 497.
- MARTINEZ REYES, ARMANDO. Control de Procesos por Computadora. IEEE. Sección México. Memoria Técnica. 1985.

FALLA DE ORIGEN

MOPPIN POBLET, JOSE. Microprocesadores y Microcomputadoras. Serie Mundo Electrónico. Publicaciones Marcombo. S.A. 1984. 3a Edición. México. p.p. 341.

MORRIS, M. NOEL. Control Engineering. Mc Graw-Hill. 1968. Great Britain. p.p. 210.

MORSE, FREDERICK T. Centrales Eléctricas. Teoría y Práctica de las Plantas Generadoras Eléctricas Estacionarias. Dmpañía Editorial Continental. 1980. México. p.p. 954.

SKROSTSKI, BERNHARDT G.A. ; WILLIAM A . VOPAT. Power Station Engineering y Economy. Mc Graw-Hill Book Company. 1960. USA. p.p. 751.

SOLIS, ENRIQUE; GONZALEZ, SALVADOR; FERNANDEZ DEL BUSTO, RICARDO. Digital Simulations as a Tool for Power Plant Control Systems Performance Evaluation. Instituto de Investigaciones Eléctricas. Cuernavaca, Morelos. México.

TIEN-CHIEN, CHANG; RICHARD A. WISOK; HSU- PIN WANG. Computer-Aided Manufacturing. Prentice-Hall. 1991. USA. p.p. 674.

WILLIAMS, B. ARTHUR. Circuitos Lógicos y Conversión de A/D y D/A. Serie de Circuitos Integrados. Mc. Graw-Hill. 1989. México. p.p. 200.