

100
2ef.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**“ AHORRO DE ENERGIA EN PLANTAS
TERMoeLECTRICAS ”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
EN EL AREA ELECTRICA Y ELECTRONICA**

**P R E S E N T A :
JUAN ANTONIO LOBATO AGUILAR**

**Director de Tesis :
Ing. Juan Vicente Leduc Rubio**



México D.F.

1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

**A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO:
POR UNA FORMACION HUMANA Y
MULTIDISCIPLINARIA**

**A LA FACULTAD DE INGENIERIA:
POR HABERME DADO UNA
HERRAMIENTA PARA APOYAR
MI TRIUNFO EN LA VIDA**

A MI MADRE:

POR HABERME ENCAUSADO
Y FORMADO CON
PROFUNDO AMOR

A MI ABUELITA:

CON QUIEN HE COMPARTIDO
GRAN PARTE DE MI VIDA

A MIS TIOS Y PRIMOS:

POR QUE NUNCA ME HAN
DEJADO SENTIRME SOLO

A MARY CRUZ:

EN QUIEN TENGO PUESTAS
TODAS LAS ESPERANZAS
DEL RESTO DE MI VIDA

A MIS AMIGOS:

POR BRINDARME UNA
AMISTAD SINCERA

**PARTICULARMENTE:
AL ING. JUAN VICENTE LEDUC RUBIO
CON PROFUNDA ADMIRACION**

GRACIAS

JUAN ANTONIO

AHORRO DE ENERGIA EN PLANTAS GENERADORAS TERMoeLECTRICAS

CONTENIDO

INTRODUCCION

3

CAPITULO I

ANTECEDENTE DE LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA Y SU CONSUMO

CICLOS	5
FLUIDOS BASICOS DE PROCESO	9
CONCLUSION	10

CAPITULO II

GENERALIDADES DE LA CONSERVACION DE ENERGETICOS COMO COMBUSTIBLES.

COMBUSTIBLES	21
--------------	----

CAPITULO III

DESCRIPCION DE UNA TERMoeLECTRICA.

QUEMADORES	29
GENERADORES DE VAPOR	31
TURBINAS	33
GENERADOR	35
TRANSFORMADORES	36
VENTILADORES	37
CONDENSADORES	38
CALENTADORES DE AGUA Y DEAREADORES	40
OTROS CAMBIADORES DE CALOR	41
BOMBAS	42
COMPRESORES DE AIRE	46
VALVULAS	47
GENERADOR PRINCIPAL DEL SISTEMA	47
TRANSFORMADORES PRINCIPALES	52
BUS GENERADOR	53
SISTEMA DE POTENCIA AUXILIAR	55

CAPITULO IV
AHORRO DE ENERGIA EN UNA TERMoeLECTRICA. ALTERNATIVAS
COMPUTACIONALES.

SISTEMAS DE CONTROL DE UNA PLANTA DE POTENCIA	67
SISTEMAS DE CONTROL	67
CONTROLANDO EL PROCESO MECANICO	68
SISTEMAS DE CONTROL ANALOGICO	70
SISTEMAS DE CONTROL DE ENCENDIDO Y APAGADO	71
EL PROBLEMA DE LA CARGA VARIABLE	72
POSIBILIDADES ALTERNAS DE COMBUSTIBLES	75
CONVERSION DE LA ENERGIA SOLAR A MECANICA	75
LA ENERGIA DE LA BIOMASA	76

CAPITULO V
EJEMPLO

INCREMENTO DE LA CAPACIDAD TERMICA DE LOS CALENTADORES DE AIRE A VAPOR DE CENTRALES TERMoeLECTRICAS UTILIZANDO VAPOR SATURADO	93
CONCLUSIONES	97
BIBLIOGRAFIA	99

INTRODUCCION

En la sociedad mundial, la industria de la potencia eléctrica opera, en gran medida, similar a otro tipo de negocios, siendo manufacturera, bancaria o industria de servicios. La electricidad es producida y vendida a consumidores. Esta es una practica de negocios estable en la que el precio pagado por la electricidad a la compañía de potencia eléctrica, debe ser suficiente para cubrir todos los gastos para proveer servicio eléctrico, mas una aceptable cantidad de rentabilidad.

Sin embargo, los negocios de potencia eléctrica tienen varios rasgos singulares que los convierten en apropiados para el control por parte del gobierno, o al menos para que sea una industria regulada por este

Estos rasgos singulares son.

- La electricidad es un servicio esencial que afecta el modo de vida de los ciudadanos y la estabilidad de la sociedad.

- La electricidad es una fuente importante de energía relacionada a la seguridad de la nación.

-Las plantas de potencia eléctrica, transmisión y sistemas de distribución son clasificados como los mas altos en inversión de capital en cuanto a las otras industrias.

- La industria de potencia eléctrica tiene el capital mas alto invertido a la rentabilidad anual de razón de venta (aprox. 6 a 1) sobre todas las industrias.

- Los servicios eléctricos a consumidores incluyen mayor uso de la iniciativa pública y privada.

Muchos métodos pueden ser usados para producir energía eléctrica de la energía contenida en diversos tipos de combustibles. Estos metodos van desde un pequeño motor accionando un alternador utilizado para proveer de potencia eléctrica a un automóvil, ó para complejos nucleares de potencia que generan capacidades sobre 1200 Mw. Todos los métodos primarios usan un movimiento rotatorio mecánico para accionar un generador eléctrico. Una forma común de obtener éste movimiento rotatorio es a partir de motores diesel que han sido usados por muchos años para proveer de energía eléctrica a las pequeñas ciudades, sin embargo, el uso de máquinas diesel para generación primaria de potencia ha declinado en los

últimos 20 años. Por otro lado siguen siendo utilizados para emergencias ó fuentes alternas de potencia en aplicaciones especiales.

Otra forma de obtener energía es a partir de las turbinas de gas, estas han sido diseñadas como fuentes de potencia para accionar generadores y tienen múltiples utilidades para suministrar potencia en condiciones de picos de carga. Su ventaja principal es que pueden ser arrancadas y puestas en marcha rápidamente, esto las hace valorables como fuentes de potencia emergentes; en estas aplicaciones el gas de la turbina es usualmente desalojado directamente a la atmósfera.

Recientemente, algunas plantas han sido diseñadas para usar turbinas de gas para el primer arranque de los generadores, y entonces se utilizan los gases calientes de escape de la turbina para aumentar la temperatura del agua del tanque depósito y generar vapor que va hacia la turbina. Este arreglo es llamado ciclo combinado.

CAPITULO I

ANTECEDENTES DE LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA Y SU CONSUMO

Las plantas de vapor generadoras de potencia eléctrica son ahora el resultado de la evolución industrial en muchos años. Como muestra la tabla I.1, los continuos esfuerzos por incrementar la eficiencia han resultado en estaciones generadoras que producen tres veces más electricidad de un kilogramo de carbón de lo que era posible hace 60 años. Este incremento en la eficiencia del refinamiento del original simple ciclo conocido como ciclo Rankine, y la habilidad de producir y proveer el uso alta de temperatura y alta presión de vapor.

Ahora examinaremos varios de los pasos en el desarrollo del ciclo de las plantas de potencia y una breve descripción de la evolución de las modernas fuentes de potencia de vapor.

CICLOS

Definición

La conversión de calor a energía mecánica se remite a los fundamentos termodinámicos. La figura I.1 lista las definiciones básicas de calor y trabajo los cuales influyen en las discusiones de los diseños de nuestras plantas de potencia.

Estados de una Substancia

En los variados ciclos de vapor estamos interesados en la determinación del trabajo que puede ser derivado del calor contenido en una substancia. Como se muestra en la figura I.2, existen muchas propiedades de substancias que deben ser definidas.

Tablas de Vapor

Recientes cartas de vapor de uso para los ingenieros son las cartas de Mollier, las cuales fueron graficadas entalpia contra entropia. Sin embargo, la aceptación moderna de las variadas propiedades del vapor bajo condiciones diversas son impulsadas por el rápido desenvolvimiento de las plantas generadoras de vapor en el siglo veinte.

Las tablas de Callendar fueron publicadas de nuevo pero ampliadas en gran medida en 1924. En los Estados Unidos, la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos Electricistas (ASME) patrocinaron una profunda investigación en cuanto a las propiedades del agua bajo los auspicios de un comité especial en las propiedades térmicas del vapor. En 1930 Joseph H. Keenan publicó estos datos. Científicos e ingenieros en los Estados Unidos, Alemania, Checoslovaquia e Inglaterra continuaron investigando y comparando los datos para descubrir los refinamientos todavía lejanos.

Como resultado, en 1936 Keenan y Keyes publicaron "Las Propiedades Termodinámicas del Vapor" con rangos de temperatura de 32°F a 1600°F y rangos de presión desde presión de saturación a 32°F a 5,500 psia. Estas tablas pueden ser consideradas las primeras tablas modernas de vapor. Obviamente, ellos continuaron mejorando hasta tener un conocimiento más abundante acerca del vapor. Tiempo después la solución de 1967 de la las tablas de vapor de la ASME son puestas en uso por parte de las organizaciones ingenieriles e industriales en los Estados Unidos.

Ciclo de Carnot

Recientemente en el siglo XX Nicolás Carnot fué responsable del descubrimiento de uno de los principios fundamentales en la termodinámica, llamado "la eficiencia de una máquina reversible depende de la temperatura entre ella y el trabajo que realiza".

La figura 1.3 ilustra el ciclo básico de Carnot e indica el efecto que tienen los límites de operación en la eficiencia térmica de los ciclos.

Ciclo Rankine

El ciclo Rankine es el más simple de los ciclos ideales utilizando vapor como medio de trabajo. El vapor saturado es el vapor utilizado en este ciclo originalmente y continúa siendo usado hoy en día. El ciclo Rankine es mostrado en la figura 1.4.

En la operación, el agua del condensador es bombeada dentro de la caldera, el calor es entonces incrementado en la caldera para convertir el agua en vapor. El vapor de la caldera se expande a través de la turbina produciendo potencia para impulsar el generador. De la turbina, el vapor expandido fluye al condensador donde de nuevo es convertido en agua. Entonces la acción en este ciclo es continua y es conocida como ciclo.

Ciclo de Recalentamiento

Cuando el vapor se expande a través de una turbina de vapor algo de este vapor se condensa en el agua. Esta agua, es acarreada dentro a la velocidad del vapor, causa pérdidas en la presión al final de la turbina. Incrementando la temperatura del vapor a la turbina, decrece la cantidad de vapor que es condensado en la turbina.

Las limitaciones en la temperatura del vapor a la entrada de la turbina pueden seguir permitiendo la condensación excesiva de agua en la sección de baja presión de turbinas grandes. Estas limitaciones son usualmente temperaturas limitantes del vapor generador y de la zona de alta presión de la turbina.

Para eliminar esta indeseable condición de condensación, el vapor es solo parcialmente expandido a través de la turbina. Entonces esta es regresada a la caldera donde es calentada en una sección especial de la caldera llamada recalentador. Este proceso recalentador usualmente calienta el vapor de nuevo a su temperatura, pero todo esto a menor presión. Ahora a esta baja presión y alta temperatura del vapor, puede ser expandido a través de la etapa de baja presión de la turbina sin la formación excesiva de condensación. Un ciclo simple regenerativo es mostrado en la figura 1.5 .

Ciclo Regenerativo

Cada porción de vapor fluyendo a través de la turbina puede sólo convertir alrededor de un tercio de su energía en trabajo efectivo de la turbina. Las restantes dos terceras partes de

ésta energía calorífica es transmitida al condensador enfriándose durante el proceso de condensación. Usando vapor que ha sido parcialmente expandido a través de la turbina para precalentar el condensador antes de entrar a la caldera usa todo el calor obtenible de el vapor. Esta acción incrementa significativamente el porcentaje de eficiencia el ciclo de potencia de la planta yá que más del calor (energía) en el vapor es usado para generar trabajo mecánico.

Este proceso es llamado calor regenerativo del agua de alimentación. El número de calor regenerativo del agua de alimentación es determinado por estudios termodinámicos complejos y cálculos detallados y el número variará con el diseño de cada planta. Los costos de combustible, temperaturas utilizables de enfriamiento para el condensador, y similares factores son las de mayor consideración. La figura 1.6 muestra un ciclo simple regenerativo.

Ciclo Regenerativo con Recalentamiento

Los ciclos regenerativos con recalentamiento permiten a las estaciones generadoras eléctricas modernas utilizar el vapor de manera mas eficiente posible. Este ciclo es una combinación de los previamente descritos ciclos de recalentamiento y regenerativo.

Un ciclo básico de recalentamiento regenerativo es mostrado en un simple diagrama de bloques en la figura 1.7. Cada estación puede tener algunas variaciones en éste ciclo. Por ejemplo, en algunas grandes plantas de carbon, no es extraño hoy en día tener al menos seis fases de calentamiento. El último ciclo es determinado por varias consideraciones de diseño y factores económicos aplicables a la planta en particular. Esto puede influir pero no necesariamente limitar a los siguientes parámetros.

- Tipo, calidad y costo del combustible.
- Selección y diseño de la caldera.
- Selección de la turbina generadora.
- Agua fresca (fuente, tipo, consideraciones de bombeo y otros factores).
- Diseño del condensador.

Esto puede ser enfatizado mencionando, que el último ciclo y arreglo que es seleccionado, es una de las mayores decisiones en el diseño entero del proceso. La elección final, resultados de un intenso riguroso y detallado análisis termodinámico y cálculos que son

hechos a tiempo en el diseño del proceso y que son comúnmente referidos como el balance térmico.

FLUIDOS BASICOS DE PROCESO

Una moderna estación eléctrica generadora a base de vapor contiene grandes y complejas piezas de equipo que son conectadas por numerosas tuberías para proveer el vapor y otros flujos de fluidos entre ellos.

La mayoría de los equipos componentes requeridos para la transferencia de la energía almacenada en el combustible a energía eléctrica están listados en la Tabla I.2 e incluyen: un generador de vapor o caldera, turbina de vapor, generador eléctrico, condensador, bomba de condensado, una bomba de abasto a la caldera.

La transformación de energía empieza con la llama del combustible en la caldera. Ya que esto es un proceso continuo el suministro de aire y combustible a la caldera es requerido para mantener la combustión.

El vapor generado en la caldera fluye a través de las líneas principales de vapor a la turbina de vapor. En seguida, el vapor se expande a través de la turbina para producir una fuerza de movimiento en el generador eléctrico. Un poco del vapor de la turbina es extraído antes de que complete su expansión y es usado para calentar el agua de abasto a la caldera.

El vapor que pasa a través de la turbina va al condensador donde es enfriado y condensado, y regresado a la fase líquida.

El agua del condensador es entonces bombeado de regreso a la caldera a través de los alimentadores de los calentadores para iniciar otro ciclo.

Un diagrama mostrando los sistemas elementales en una típica planta con ciclo de vapor es mostrado en la figura I.8.

El propósito básico de una planta de potencia es proporcionar potencia eléctrica a la línea de transmisión. Todos los otros equipos en los subsistemas varios están subordinados a este objetivo, y soporte de éste propósito. En la ilustración el generador convierte la potencia rotatoria de la flecha de la turbina a 3600 rpm en 3 fases, 60 Hz a 20,000 V. La turbina convierte la energía del calor del vapor de alrededor 1500 a 1800 lb/in² (alrededor de 100 a 120 Kg/cm²), y 1000°F (alrededor de 530°C) a un par de flecha de 3600 rpm. El condensador transfiere la

energía sobrante al océano, río, lago o torre de enfriamiento. La caldera convierte la energía química del combustible de hidrocarburos en energía calorífica.

CONCLUSION

El descubrimiento de las modernas plantas de vapor del ciclo Rankine sencillo ha resultado de un fuerte y continuo motivo de mejorar la eficiencia térmica del ciclo de vapor.

La evolución de la termodinámica ha sido además asistida por la implementación en varias aleaciones y metales, nuevos procesos de fabricación y el avance del diseño y técnicas de construcción de plantas generadoras.

Tabla 1.1

REVISIÓN HISTÓRICA

Año	Motriz primaria	Presión del vapor Kg/cm ²	Calorías hp-hr	Kg. Coal hp-hr
1700	Máquina de Savery (vapor en contacto con el agua bombeada)	3-11	105.000	13.6
1720	Máquina irradiadora de Newcomen con pistón	5	70.000	9.1
1782	Máquina de doble expansión de Watt	8	28.000	3.63
1880	Empezando la era moderna	5	14.000	1.82
1900	Máquina de múltiple expansión	10	5.300	68
1920	Planta de potencia de turbina de gas (grande)	20	3.500	55
1925	Planta de potencia grande	21-85	2.520	45
1953	Planta de potencia grande	Hasta 168	1.800	34
60's	Planta de potencia grande	Hasta 350	1.500	23

Tabla 1.2

REVISIÓN HISTÓRICA

Punto	Función
Combustible	Provee una fuente de energía de hidrocarburos
Caldera	Genera vapor a partir del calor de la combustión
Turbina	Convierte la energía térmica en fuerza mecánica rotativa
Generador	Convierte la energía mecánica rotativa en energía eléctrica
Condensador	Convierte el vapor expandido (a baja presión y baja temperatura) en agua
Calentadores	Mejora la eficiencia termodinámica del ciclo
Bombas	Circulan diversos fluidos (principalmente agua) a través de diversos sistemas
Transformadores	Alistan la potencia eléctrica al nivel requerido para transmisión consideración de pérdidas y necesidades
Líneas de transmisión	Entregan potencia eléctrica desde el punto de generación (planta de potencia) al punto de uso

KILOGRAMO-CALORIA = kcal = LA CANTIDAD DE CALOR REQUERIDA PARA ELEVAR LA TEMPERATURA DE 1 KILOGRAMO DE AGUA, 1°C.

427 kg-m = 1 CALORIA (CALOR Y ENERGIA MECANICA SON INTERCONVERTIBLES)

1 UN CABALLO DE POTENCIA (HP) = 75 KGF-M POR SEGUNDO

632 kcal POR HORA

1 KW = 1.360 CAPALLOS DE POTENCIA (HP) = 860 kcal/HORA

1 HP-HR = 632 kcal

1kwh = 860 kcal

Figura I.1 DEFINICIONES BASICAS

PRESION: kg/cm^2

TEMPERATURA: $^{\circ}\text{C}$

VOLUMEN ESPECIFICO: cm^3/gram

CONTENIDO DE CALOR, ENTALPIA: kcal/kg

ENTROPIA: $\Delta\phi$ a, b = $\int_a^b dQ/T$

Figura 1.2. ESTADOS DE UNA SUBSTANCIA

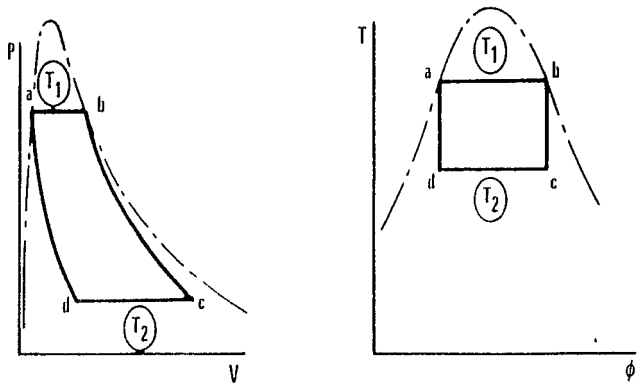


Figura 1.3 CICLO DE CARNOT

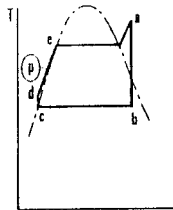
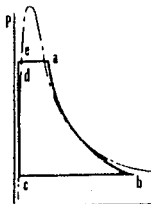
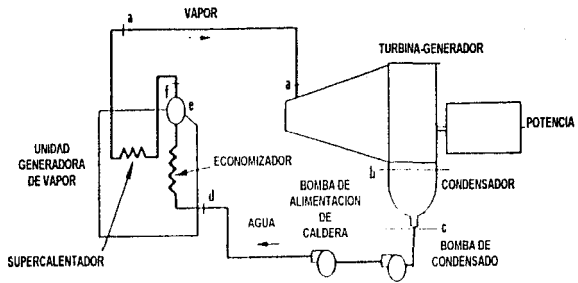
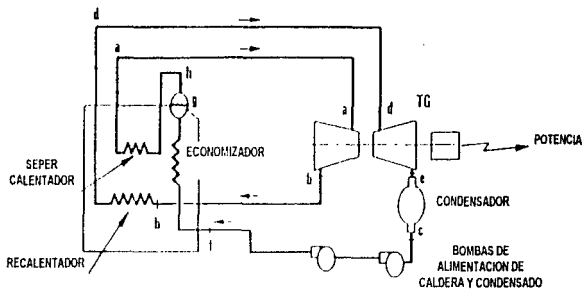


Figura 1.4 CICLO RANKINE



- a - ADMISION DE VAPOR
 b - FRIO RECALENTADO
 bd - VAPOR RECALENTADO
 cf - ALIMENTADOR DE AGUA DE ALTA PRESION
- de - EXPANSION DESPUES DEL RECALENTADOR
 ec - CONDENSACION
 g - VAPOR GENERADO EN LA CALDERA
 h - VAPOR SECO Y SATURADO

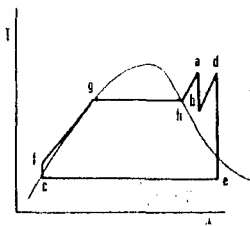
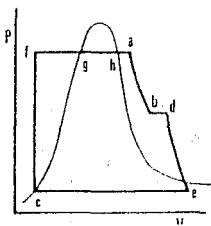


Figura 1.5 CICLO DE RECALENTAMIENTO

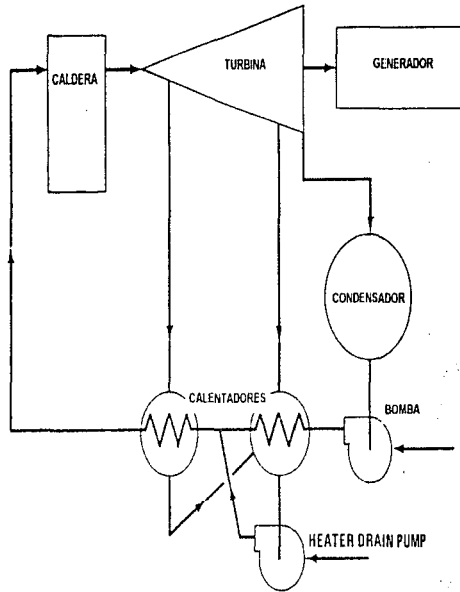


Figura I.6 CICLO REGENERATIVO

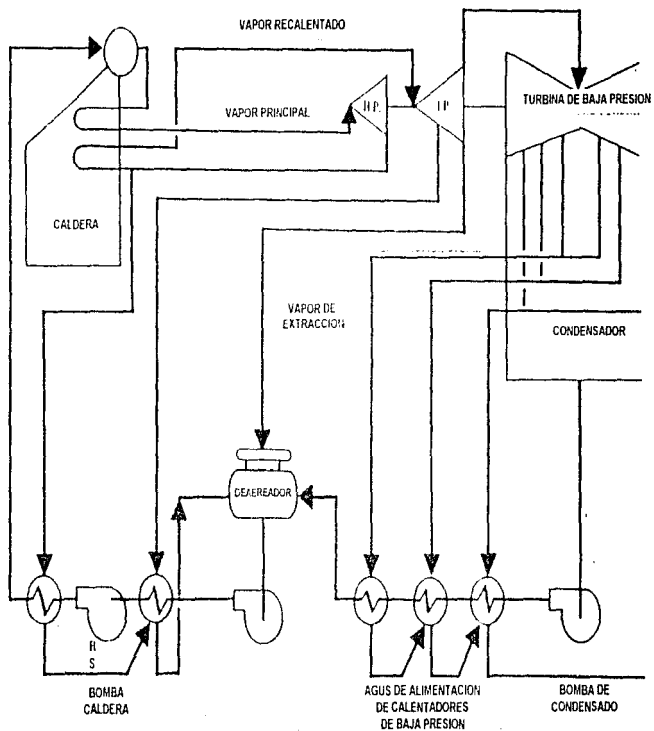


Figura 1.7 CICLO DE RECALENTAMIENTO REGENERATIVO

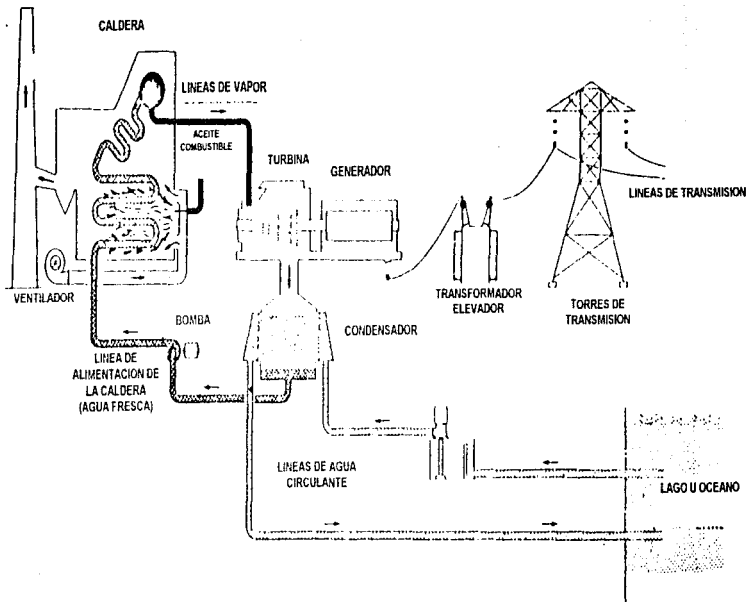


Figura 1.8 ELEMENTOS BASICOS DE UNA TIPICA PLANTA DE VAPOR

CAPITULO II

GENERALIDADES DE LA CONSERVACION DE ENERGETICOS COMO COMBUSTIBLES.

COMBUSTIBLES

El generador de vapor o caldera puede arder con una variedad de combustibles. Cada diferente combustible requiere diferentes diseños de calderas. El petróleo y gas natural como combustibles pueden ser exitosamente combinados para uso en un generador de vapor. Muchas aplicaciones utilizan esta combinación de combustibles y muchas utilizan ambas al mismo tiempo para los quemadores de la caldera. El menos caro de los combustibles es usualmente quemado en su máxima proporción, se balancea el calor con el suministrado por el combustible más costoso.

Las calderas de carbón requieren hogares más grandes que los calentadores de petróleo y gas para la misma cantidad de calor. Esta es una razón por la que las plantas de carbón son diseñadas normalmente para sólo un combustible. Carbón, con gas o petróleo es raramente usado como combustible alterno. El costo del carbón es usualmente menor que el costo del petróleo o gas natural, y ésta es la razón principal por la que el carbón es usado tanto como es posible. En plantas que pueden utilizar combustibles duales, tal como carbón y gas, el carbón es usualmente quemado exclusivamente, excepto para períodos especiales de operación cuando el suministro de carbón es problemático.

Cada tipo de combustible requiere diferente almacenamiento y preparación antes de que pueda ser quemado. En éste momento sin embargo limitaremos nuestra atención a la sección de la caldera. A éste respecto cada tipo de combustible además requiere diferente equipo mecánico y sistemas de soporte para la llama del calentador.

La materia prima de las plantas termoeléctricas es la energía potencial latente en un combustible y el oxígeno necesario para ponerla en condiciones dinámicas a alta temperatura. Un *combustible* se compone de elementos químicos los cuales, por su unión química rápida con el oxígeno, producen la combustión. Como esta definición depende del significado de la palabra combustión, se define luego éste termino *Combustión* es la unión química rápida con el oxígeno de un elemento cuyo calor exotérmico de reacción es suficientemente grande y de velocidad suficientemente rápida, que queden en libertad

cantidades utilizables de calor a elevadas temperaturas. En todos los combustibles de uso común, los elementos que se buscan, por tener el calor de formación y la velocidad suficiente para reaccionar, son el carbón y el hidrógeno. Estos dos elementos químicos se combinan con otros de diferentes maneras, produciendo los combustibles comerciales. Se emplean combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, separadamente en general. El carbón es el combustible sólido que más se usa en la generación de vapor, pero también a veces se usan desperdicios industriales. El petróleo es el tipo de combustible líquido más importante. El tercer grupo lo forman los gases naturales y los que resultan como productos secundarios en la industria, además de los manufacturados, pero estos últimos se usan rara vez debido a su alto costo. Ocasionalmente es posible usar gases que son productos secundarios. Generalmente sólo lo emplean las industrias de producción y no lo distribuyen.

Gas

Su costo por unidad térmica al salir de los pozos se compara favorablemente con otros combustibles, pero el costo del transporte por las costosas tuberías, que deben tener estaciones compresoras a intervalos regulares, añade un costo por distribución que lo convierten en un combustible caro, comparado con el petróleo o el carbón de piedra. Las ventajas que tiene, son la comodidad para su uso, que provienen de su fácil control combustión sin humo y ausencia de ceniza. Su costo es el mayor inconveniente para usarlo en gran escala para producir vapor. El metano (CH_4) es el principal componente del gas natural. Además, este gas a veces contiene etano, nitrógeno y monóxido de carbono: La mayor parte de las muestras de gas natural dan como promedio 9 calorías por litro en las condiciones normales de temperatura 15.5 C y 762 mm de Hg de presión. Se vende en general por volumen, corrigiendo por temperatura y presión.

Petróleo

Los combustibles líquidos para la plantas de fuerza son casi siempre productos secundarios del petróleo. El petróleo crudo contiene principalmente carbón e hidrógeno en unión de pequeñas cantidades de oxígeno, nitrógeno y pequeñas cantidades de azufre: El hidrógeno se presenta casi siempre en la forma de una mezcla de hidrocarburos. Los petróleos crudos muy rara vez se utilizan en su forma original. Su descomposición en numerosos productos comerciales es una de las industrias mayores en los países desarrollados. La composición química aproximada es: carbón 85%, hidrógeno 15%. Entre los productos y productos secundarios

del petróleo varían poco las propiedades químicas, aunque las propiedades físicas, como la viscosidad, la densidad y el color varíen mucho. Se producen muchos combustibles especiales por la destilación del petróleo crudo o por cracking¹, que es la descomposición a que se somete mediante altas presiones y temperaturas. El cracking de los petróleos crudos produce una fracción mayor de combustibles para motores de combustión interna que la simple destilación. La tremenda demanda que tiene el combustible para motores se refleja en la circunstancia de que la mayor parte de los crudos se tratan por el procedimiento del cracking. Los productos producidos en las refinerías de cracking deben separarse de acuerdo con su punto de ebullición en aceites ligeros, y aceites residuales ó pesados. En el resultado final siempre se obtiene cierta porción de sedimentos pesados alquitranosos que no pueden utilizarse fácilmente, sino con un equipo completamente especial, de los que se usan solamente en la planta de fuerza de la refinería

Combustibles para motores de combustión interna

El motor de C.I se opera con combustibles casi siempre obtenidos del petróleo. El gas combustible es la excepción que se usa en algunos motores de dos combustibles. Aunque Diesel originalmente trató de operar su nuevo motor con polvo de carbón, ni él ni nadie ha podido resolver el problema de las cenizas. Las refinerías sujetan a los crudos a un proceso en el que se obtiene la mayor producción de gasolina. Hasta la actualidad, el combustible diesel se ha obtenido por destilación, pero al ir aumentando su demanda, sin duda se mezclará con el que se obtenga por medio del cracking con catalizador.

El petróleo típico es una sustancia compleja, compuesta de carbón e hidrógeno, formando varios compuestos cada uno de ellos con sus puntos límites de ebullición propios. Los compuestos se clasifican en cuatro grupos: parafinas, otefinas, naltalenos y sustancias aromáticas. Sus porciones son: 85% por peso; hidrógeno 15%. La fig. 11.1 muestra la amplitud de la variación de la volatilidad de los productos combustibles comerciales que se derivan del petróleo. Los motores en los que se hace la ignición por medio de bujías alimentadas con combustibles líquidos, requieren un combustible muy volátil para poder hacer combustión y por lo tanto requieren gasolina. Los motores diesel pueden usar un combustible menos volátil y más barato. Normalmente este combustible es destilado compuesto de una mezcla de petróleo (Keroseno) y gas oil, pero en forma creciente se está usando en vez de gas oil, el petróleo

¹Proceso de destilación del petróleo, para descomponerlo en sus derivados.

mezclado con destilados obtenidos por cracking. El combustible que resulta, aunque no les gusta a los operadores acostumbrados a trabajar con destilados directos, parece que sirve satisfactoriamente si se elige el adecuado para la máquina. Como los motores Diesel son los más importantes de las centrales que tienen motores de combustión interna, se hace una reseña de las cualidades comparativas importantes que deberán tener los combustibles adecuados para ellos. Estas son:

- | | | | |
|----|-----------------------|----|----------------------------|
| 1. | Densidad | 5. | Potencia calorífica |
| 2. | Viscosidad | 6. | Fluidez, encendido y calor |
| 3. | Volatilidad y residuo | 7. | Pureza |
| 4. | Ignición | | |

Aceite combustible para el hogar

Las propiedades características que se emplean para medir el valor del aceite para hogares, son principalmente los mismos que se mencionaron anteriormente. Comercialmente los aceites combustibles para usarse en el hogar se designan por números. En la tabla II.1 se dan las especificaciones para los mismos. Se notará que se clasifican en 6 grados. En general al aumentar el número del grado baja el costo del aceite por contenido de calorías. También, mientras mayor es el número, más difícil es lograr una atomización adecuada y una combustión sin humo del aceite, se necesita dar mayor mantenimiento a los quemadores, y el equipo de ignición puede ser más complicado por la necesidad de poner más calentadores para reducir la viscosidad del aceite antes de atomizarlo.

El carbón de piedra

El carbón de piedra es un compuesto heterogéneo, oxígeno, azufre, nitrógeno y ciertos minerales incombustibles, que no se analizan ordinariamente, pero que se agrupan en el término de "ceniza", las múltiples maneras en que se combinan estos elementos en el carbón de piedra, como se encuentra en los diferentes sitios, impide dar una definición sencilla. En efecto, el carbón es una substancia muy variable, y la clasificación en sus diferentes formas no ha sido fácil. En algunos sistemas de clasificación se trata de encontrar un sistema de variación común entre las diferentes clases. El inventor de un sistema práctico, tendría que eliminar la humedad

y la ceniza, por que estas no siguen ninguna ley en el carbón. La presencia en el carbón, tal como se encuentra en los montones de almacenamiento, o listo para quemarse, o como se recibe en el laboratorio, tanto de humedad como de ceniza, da lugar a ciertas variaciones en el análisis de los componentes.

Pruebas para deteminar la potencia calorifica de los combustibles.

La mayor parte de las estaciones centrales tienen laboratorio en el que se hacen pruebas de rutina, incluyendo las pruebas de combustibles. Lo mismo se encuentra a veces en la industria, que en algún departamento técnico de la industria hace las pruebas de los combustibles.

Las pruebas para determinar la potencia calorifica se hacen valiéndose de uno de los calorímetros patrones de combustibles. Las pruebas de combustibles sólidos son mucho más fáciles de hacer que la de los líquidos debido a las dificultades inherentes que presentan para determinar con precisión su potencia calorífica. Por otra parte, el aceite combustible es una substancia mucho más homogénea que el carbón, y se pueden obtener determinaciones buenas de su potencia calorífica por las lecturas de un aerómetro

Los aparatos para determinar la potencia calorífica caen dentro de dos categorías generales: para pruebas continuas y para pruebas intermitentes o aisladas.

Los combustibles sólidos se prueban con aparatos para pruebas aisladas. Los combustibles gaseosos con aparatos para pruebas continuas, y líquidos con unos y otros, dependiendo de su volatilidad.

La mayor parte de los calorímetros miden el calor desprendido absorbiéndolo con agua. Si la temperatura máxima del medio ambiente es suficientemente baja para enfriar los productos de la combustión abajo de los 100 C, el calor latente de vaporización contenido en los productos se desprenderá. Como siempre este es el caso, la que se obtiene por calorimetría es siempre la potencia calorífica superior, y no la inferior.

Análisis abreviado

Este análisis se hace calentando el carbón hasta que se descompone en tres de los cuatro componentes del análisis abreviado. Como el cuarto se encuentra por diferencia, la única comprobación posible de los resultados de la prueba, es analizar muestras duplicadas y

comparar los resultados. El laboratorio debe estar provisto de un molino para moler las muestras, de un horno de mufla con control de temperatura y pirómetro indicador; un horno secador con termostato, crisoles, un frasco secador y balanzas analíticas. La siguiente descripción se basa en el procedimiento patrón de la ASTM, modificado para hacer más rápida la comprobación. Se usan seis crisoles limpios, cuatro planos y cuatro hondos. Las tapas se usan en algunos casos. Todos estos aparatos se pesan vacíos, aproximando hasta el miligramo.

Humedad. Se pesan dos muestras y se colocan en los crisoles planos en un horno a 105°C durante una hora, se colocan luego dentro de un secador para que se enfrien y se vuelven a pesa. El secador es un recipiente cerrado que contiene sustancias que absorben la humedad que evitará que las muestras que se van a probar absorban humedad de la atmósfera al enfriarse. Las muestras deben estar frías, pues de otra manera las corrientes de aire caliente que producen impiden el manejo correcto de las balanzas analíticas.

Para comprobar la efectividad del secado de las muestras, se vuelven a calentar 10 minutos, se enfrían y se vuelven a pesar. Se continúa esta operación hasta que el peso de dos pesadas sucesivas sea constante. El porcentaje de humedad es la pérdida de peso de la muestra, dividida por su peso neto original en crisol.

Materiales volátiles: Se colocan dos muestras en crisoles hondos con tapas y se pesan. Se colocan en un horno a 954°C durante 7 minutos exactamente, luego se sacan y se enfrían. Las pérdidas de peso en este caso se deben a la pérdida tanto de agua como sustancias volátiles. Habiendo determinado antes la humedad, las sustancias volátiles se encuentran por diferencia.

Ceniza. Las dos muestras restantes se calientan en un horno a 760°C durante dos horas, y luego se sacan, se enfrían en un secador, y se vuelven a pesar. El proceso debe repetirse, lo mismo se hizo con las muestras para determinar la humedad. Hasta que se obtenga un peso constante. El porcentaje de las cenizas contenidas es igual al peso de la muestra remanente dividida entre el peso neto original.

Finalmente habiendo determinado todos los demás componentes analíticamente, se considera que es el carbón fijo la diferencia entre el 100% y la suma de todos los porcentajes determinados para los otros tres componentes.

Núm.	Descripción	Punto de ebullición °C	Punto de Dewey °C	Punto de congelación °C	Punto de congelación en un recipiente abierto °C	Densidad g/cm ³	Temperatura de combustión °C		Viscosidad								Densidad del API
							Punto		Saybolt				Centistokes a las temperaturas				
							15°C	50°C	Ubbelohde a 87.4°C	Furness 99°C	57.8°C	99°C	150°C	200°C			
1.	Aceite destilado para vapor. Agua a ebullición tipo alta y para que se despegue fácilmente.	100 97.5	-17.8	17.0	8.18	0.716	125.44	4.4	16.7	12	1.7						
2.	Aceite destilado para uso general en palenqueras domesticas para uso en operaciones que se incluyen en el No. 1.	100 97.5	0.7	0.10	0.21	0.716	125.44	4.4	16.7	12	1.7						
3.	Aceite para quemadores en los laboratorios que no necesitan del espacio de protección normal.	100 97.5	0.7	0.23	0.10	0.716	125.44	4.4	16.7	12	1.7						
4.	Residuo tipo de los aceites destilados para uso en laboratorios.	100 97.5	0.7	1.03	0.13	0.716	125.44	4.4	16.7	12	1.7						
5.	Aceite para uso en operaciones especiales con presiones de hasta 100 lb por pulgada cuadrada.	100 97.5	0.7	1.03	0.13	0.716	125.44	4.4	16.7	12	1.7						

a) Recomendación la necesidad de pruebas especiales de los combustibles de
aceite, cuando se operen con bridas de alto nivel, los aceites para combustión,
cuando se utilizan y otros en otros en otros que se describen, deben especificar
los requisitos de aceite de acuerdo con la tabla siguiente:

Grado del aceite combustible

216 de 100%

%

No. 1	0.6
No. 2	1.0
No. 3, 4 y 5	Elmado

Se pueden especificar otras bridas de los aceites solo por escrito acuerdo
al fabricante y al vendedor.

b) La cantidad de agua destilada en el aceite que se puede admitir es:

cuando se los requisitos de un grado determinado, el aceite no debe contener
más de 0.1% de agua destilada, a menos que de hecho se especifique los requisitos
de otro.

c) Debe prohibirse la retención a la seguridad del No. 1, de combustible con
el punto de ebullición de hasta 50°C. La carga de agua en el aceite de
motor debe ser de 0.1% o más.

d) Los puntos superiores a bridas de límites superiores de bridas, con
los especificaciones no impuestas en punto de bridas de 100 lb por pulgada
cuadrada.

e) El punto de 10% puede especificarse a 100 lb por pulgada cuadrada
o quemadores que no sea tipo de otro.
f) La cantidad de agua por destilación para el aceite que se especifica en
este manual es de 0.1%. La cantidad de destilación por el aceite que se
especifica en el manual es de 0.1%. De hecho la destilación completa de los aceites
destilados que están del 10%.

Tabla 1.1 Requerimientos detallados para aceites combustibles

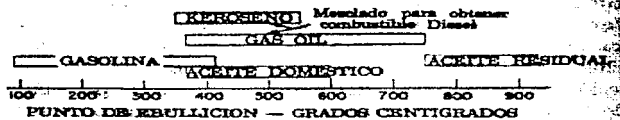


Figura II.1 PRODUCTOS DE LA DESTILACION DE PETROLEO CRUDO

CAPITULO III

DESCRIPCION DE UNA TERMOELECTRICA

En las paginas anteriores se describio el ciclo Rankine básico y se discutió su desarrollo al paso de los años. En las siguientes lineas veremos:

- 1) Descripción de la mayor parte de equipo típico en una planta de potencia.
- 2) Se discutirán brevemente las características esenciales de operación de los equipos.
- 3) Se definirán algunos de los subsistemas importantes en una planta típica, los cuales son requeridos como soporte de la mayoría de los sistemas.

QUEMADORES

Sistemas con Quemadores de Gas

El sistema mas simple de llama es el requerido por la caldera con quemadores de gas. Los quemadores de combustible están adecuados dentro de aberturas en las paredes del horno para dirigir la llama del combustible dentro del mismo. Una función primaria de los quemadores es proveer una mezcla apropiada de aire y combustible para activar una combustión eficiente.

Un sistema de ignición es provisto para iniciar la secuencia de la llama y detectores de flama son instalados para permitir operaciones en localidades remotas para verificar la existencia y tipo de flama.

La flama de los quemadores fluye dentro del hogar creando grandes volúmenes de gases de altas temperaturas. El calor de éstos gases es transferido a las paredes del horno por radiación y convección. Esto calienta el agua en los tubos que la conducen y causa la natural circulación al tanque de la caldera. Esta natural circulación es un proceso continuo con el agua yendo continuamente de la parte inferior del tanque a la parte superior del mismo. Como cada ciclo es completado un poco de agua es transformada en vapor y es regresada al tanque.

No todo el calor aprovechable de los gases es absorbido en el área del horno de la caldera. Los gases calientes fluyen a la sección de recalentamiento, supercalentador

secundario, supercalentador primario, economizador, precalentador de aire y entonces a la salida de escape como se muestra en la figura III.1. Como los gases calientes fluyen a través de estas secciones de la caldera transfieren su temperatura a esa parte de la caldera y el calor de éstos disminuye. Un buen diseño de caldera tendrá la menor pérdida de temperatura que pueda ser tolerada. Este punto es usualmente determinado por la temperatura mínima requerida por el combustible en la planta para evitar condensación de humedad en los economizadores, precalentadores de aire y eliminar el efecto corrosivo causado por esta condensación.

Quemadores de Petróleo

Los quemadores de petróleo son combinados con quemadores de gas cuando una unidad de petróleo es diseñada. Los quemadores de petróleo son unidades atomizadoras de alta presión que entran a través del centro de la abertura del quemador y proveen el suministro de petróleo para mezclarlo con aire que entra a través del quemador. Una vez que el proceso de encendido es iniciado la transferencia de calor es similar a la operación de quemadores de gas ya descritos anteriormente.

Quemadores de Carbón

El combustible pulverizado es generalmente utilizado por generadores de vapor que utilizan quemadores de carbón en plantas de vapor generadoras de energía eléctrica. Otro método de quemado del carbón se consigue en el que es llamado el ciclón del horno. Normalmente, los ciclones de horno son usados para encender menores columnas de carbón y lignito y son limitadas a este tipo de servicio. Hay muchos ciclones de carbón en operaciones comunes, sin embargo para propósito de estas discusiones solo veremos los tipos de pulverizadores más importantes. El alimentador de la caldera y la planta, usualmente seleccionan el tipo de carbón más adecuado para las condiciones esperadas de operación y la mezcla de carbón a ser quemada. Esto requiere un estudio cuidadoso de la composición y características del combustible y esas condiciones de régimen para la ubicación de la planta.

El carbón proveniente de un almacén de carbón es introducido al pulverizador. El carbón es pulverizado por acción mecánica y es entonces transportado por aire del sistema primario de aire a través de los tubos de despacho a diversos quemadores. Un pulverizador usualmente provee a cuatro quemadores. Los quemadores mezclan el aire de carbón primario

con el aire secundario para la mezcla deseada de combustión. El encendido es provisto por un encendedor de aceite y gas separado en cada quemador.

En los quemadores de carbón los encendedores deben permanecer en operación hasta que la temperatura en la zona de combustión llegue a ser lo suficientemente alta para asegurar la autosustentación de la ignición del combustible principal. Esto requiere de muchas horas. También puede notarse que cuando la carga es reducida será necesario poner el sistema de encendido desde antes en operación para asegurar el encendido estable del pulverizador de carbón.

Todos los quemadores, y esto incluye los quemadores de gas y petróleo también, tienen un límite bajo para encendido apropiado. Si la carga es reducida por debajo de límite apropiado de operación de los quemadores es necesario remover algunos quemadores de servicio para permitir a los otros quemadores a la máxima razón de flujo.

GENERADORES DE VAPOR

Los Generadores de vapor, también llamados calderas son usados para convertir la energía de varios combustibles en energía calorífica en forma de vapor. Las calderas para estaciones de vapor generadoras de energía eléctrica son un tipo de tubos que contienen el abasto de agua dentro de muchos tubos mientras el combustible es quemado en una gran cavidad llamada el hogar como se muestra en la figura III.2. Los gases calientes formados por el proceso de combustión son también forzados a través de otras partes del hogar conteniendo supercalentadores y economizadores y entonces un precalentador de aire y finalmente, arriba del sistema como gases de escape.

Tipos de Calderas

Son dos tipos básicos de calderas las usadas comúnmente. Uno es el tipo tambor donde la transición de agua a vapor tiene lugar en un gran tambor. El otro tipo es un tipo supercrítico que no utiliza un tambor de vapor porque el vapor y el agua coexisten en la misma densidad sobre la presión crítica del agua.

Nosotros nos concentraremos en las calderas tipo tambor ya que éstas son más frecuentemente usadas por unidades generadoras de vapor de capacidad menor a los 500 Mw.

Calderas Tipo Tambor

Una descripción del lado de flujo del agua y vapor será seguido de una descripción del lado de flujo del aire y combustible de una caldera típica tipo tambor.

El agua caliente es forzada en la primer parte de la caldera llamada el economizador por la bomba alimentadora de la caldera. El economizador esta localizado donde el flujo de gas se encuentra a su menor temperatura, usualmente justo antes de la combustión precalentadora de aire.

El agua calentada del economizador fluye entonces al tanque de la caldera donde es mezclada con el agua corriente presente en el tanque. El tanque de la caldera es un gran recipiente presurizado que es necesaria para el cumplimiento de varias funciones. Muchas grandes tuberías llamadas bajadores le permiten al agua del tanque fluir al sistema de distribución de las paredes. Los bajadores están fuera del área de la caldera y los tubos de las paredes de agua que ellos proveen de la pared del horno. El calentamiento del agua en las paredes de la caldera reduce su densidad y produce una circulación natural al tanque de la caldera mediante la mayor densidad del agua fría en la tubería de los bajadores.

Como el agua calentada del horno asciende al tanque de la caldera causa una acción de calentamiento en el tanque debido al liberamiento del vapor.

Ya que tanto el vapor y el agua están presentes en el tanque solo vapor saturado puede ser generado. Para producir vapor a una temperatura mayor que la temperatura de saturación, es necesario el vapor separadamente en la sección supercalentadora de la caldera. Partes especiales dentro del tanque de la caldera llamadas "fregaderas" y secadores son colocados en la cima del tanque para separar toda el agua del tanque y permitirle fluir solo al vapor seco del tanque a los supercalentadores.

Es agregado calor al vapor en los supercalentadores para incrementar la temperatura del vapor sobre la temperatura normal de saturación. Este calentamiento es usualmente hecho en dos niveles llamados supercalentador primario y secundario. De los supercalentadores secundarios el vapor a temperatura y presión requeridas para la operación de la turbina es colectado en grandes tuberías llamadas líneas principales de vapor y son entonces entubadas a la turbina de vapor.

TURBINAS

Como discusión en los primeros párrafos una turbina de vapor es una máquina que convierte energía calorífica en energía mecánica a través de la expansión del vapor de los álabes de la turbina produciendo así velocidad y par en la flecha de la turbina. Esta conversión de energía resulta en movimiento rotativo que puede ser conectado directamente al generador. (Una turbina y generador típico son mostrados en la figura III. 3A y III.3B respectivamente).

Arreglo de turbina (figura III.4)

Varias partes especiales de turbinas son requeridas para acompañar la conversión de energía, sin embargo, el corazón de la turbina es un elemento rotativo que es comúnmente llamado flecha. La flecha es esencialmente un eje muy largo conteniendo varias hileras de álabes. La flecha es alojada en una hendidura horizontal que está diseñada para permitir un relativo y fácil acceso al interior de la turbina para propósitos de mantenimiento.

Ventajas

Las turbinas de vapor de alta presión son las fuentes de potencia mecánica más extensamente usadas para manejar grandes generadores eléctricos porque grandes cantidades de potencia confiable pueden ser provistas dentro de un volumen razonablemente chico. Por ejemplo, dos turbinas de vapor de 750 Mw localizadas en un área de aproximadamente 30 por 90 m. pueden producir cercanamente tanta potencia como todos los generadores hidroeléctricos en Hoover Dam cerca de Las Vegas, Nevada.

Cubierta de las Turbinas

La cubierta de la turbina proporciona soporte a los cojinetes, los álabes de vapor estacionarios están colocados entre cada cadalzo de los álabes rotativos, y los sellos de la flecha. Obviamente la cubierta sirve también como contenedor para el paso del vapor. Las grandes turbinas usualmente tienen más de una cubierta y eje con las flechas conectadas en serie.

Válvulas Principales

El vapor a la turbina es controlado por válvulas reguladoras que regulan la cantidad de vapor admitida a la turbina en orden para mantener la velocidad constante necesaria para producir potencia a una frecuencia constante. Las válvulas principales de parado de vapor son provistas también como instrumentos de emergencia para cerrar inmediatamente y detener el suministro de vapor a la turbina para prevenir velocidad excesiva cuando la carga eléctrica en el generador es desconectada. Las turbinas que utilizan vapor recalentado también requieren una válvula de parada de emergencia en la línea de recalentado para funcionar inmediatamente si la carga es liberada. Estas válvulas de parada previenen el acumulamiento de vapor en el cubículo principal y las líneas de recalentamiento las cuales contienen suficiente energía para sobre-acelerar la flecha de la turbina si la carga es liberada.

Lubricación

Cada turbina también requiere un sistema de aceite lubricante para las condiciones de lubricación de la flecha el sistema de lubricación es un poco extensivo y la mayoría del equipo está localizado en un lugar remoto a la turbina. Los componentes del sistema usualmente incluyen una bomba de aceite para la flecha de la turbina, controlador de motor para una bomba de emergencia, enfriadores de aceite, equipo purificador de aire y un gran receptáculo de aceite.

Sellador de Vapor

Otro sistema es requerido para proveer de selladores de vapor a lo largo de las flechas de las turbinas. El sistema previene de goteras provenientes de las flechas de alta presión de la turbina y previene el aire de goteras dentro de las flechas de baja presión en las áreas de baja presión de la turbina. Muchos de éstos sistemas están también localizados en lugares remotos a la turbina y son conectados a la turbina mediante una tubería especial.

Control

Un sistema de control de velocidad es requerido para el gobierno de la velocidad de operación de la turbina. Este es un sistema complejo pero, en esencia, las funciones del sistema de control para regular la posición de la válvula de control reguladora de la turbina. En ésta forma la velocidad de la turbina es mantenida a un valor constante el cual en cambio, produce potencia a una frecuencia constante del generador eléctrico.

GENERADOR

El generador provee de energía eléctrica al transformador para la transmisión al sistema eléctrico de potencia de distribución. Un generador moderno es una máquina de alto rendimiento para la conversión de energía mecánica del vapor de la turbina en energía eléctrica para la distribución como se muestra en la figura III.3

Operación

En un arreglo usual un generador es manejado por una turbina con las flechas de cada una unidas mediante coples. Una máquina adicional llamada excitador es conectada a la flecha del generador para proveer de corriente directa al rotor del generador. La corriente es pasada a través del rotor, lo que lo habilita para ser usado como imán eléctrico rotativo. Girando este imán dentro de los devanados del estator del generador produce la salida eléctrica del generador. Para poder incrementar la eficiencia de grandes generadores, el interior del generador es llenado con hidrógeno en lugar de aire. El hidrógeno atmosférico ofrece menor resistencia al devanado del rotor. Este desarrollo es típico de los muchos que han tenido lugar con los años en la constante innovación de la eficiencia de las estaciones de vapor generadoras de energía eléctrica.

Sistemas de sellado

Un sistema especial de sellado es requerido para mantener el hidrógeno sin fugas a lo largo de la flecha del generador. Partes del sistema están separadas del generador por tubería. Otros elementos del sistema de sellado provistos para la separación del hidrógeno y el aceite

Enfriamiento

Los generadores también requieren enfriamiento para eliminar el calor y ésto asegura una operación adecuada. El enfriamiento es usualmente conseguido por el uso de cambiadores de calor con agua enfriada, costruidos dentro de la cubierta del generador para enfriar el hidrógeno. El hidrógeno es recirculado a través del generador por un ventilador montado en la flecha. El hidrógeno pasa a través de los devanados del generador y después en los intercambiadores de calor de agua enfriada.

Un sistema separado de enfriado usando condensado puro puede ser usado para enfriar el estator del generador. El condensado es circulado a través de tubería en el estator del generador y después enviada a la parte externa del generador y enfriada por intercambiadores de calor separados en el sistema de enfriado del hidrogeno del estator que consiste de intercambiadores de calor, bombas, filtros y equipo de control asociado.

TRANSFORMADORES

Transformadores Principales

El transformador principal de potencia eleva el voltaje proporcionado por el generador al voltaje requerido en las líneas de transmisión. El propósito de elevar el voltaje es eliminar pérdidas en los sistemas de transmisión. Los transformadores principales de potencia pueden consistir de tres unidades monofásicas o pueden formar todos tres juegos de devanados en una sola cubierta y mostrarse como un transformador trifásico individual. Estos transformadores son un poco grandes y son usualmente enfriados con un sistema de aceite dieléctrico para asegurar confianza y operación continua.

Transformador Auxiliar

Un transformador adicional, llamado transformador auxiliar, ó de servicio de estación, es usualmente provisto para suministrar potencia para el equipo eléctrico de la estación. La estación auxiliar del sistema de suministro eléctrico es esporádicamente modificada para proveer potencia eléctrica a bajos voltajes para el equipo eléctrico de más pequeño tamaño en cualquier planta de potencia.

VENTILADORES

El aire para combustión debe ser forzado dentro de la caldera por grandes ventiladores. Los ventiladores de aire forzado toman aire de la atmosfera y mediante el uso de grandes ductos lo forzan a través de los precalentadores de aire de combustión y dentro del área de quemadores de la caldera.

Los ventiladores de aire forzado son usualmente del tipo centrífugo. Las aletas en el ventilador mantienen el control del aire proporcionado por el ventilador para el encendido adecuado en el horno. Las calderas de horno presurizado utilizan ventiladores de aire forzado para inducir aire a la caldera y aire precalentado. Las presiones en este tipo de hornos está siempre sobre la presión atmosférica.

Las calderas con horno de aire balanceado usan ventiladores de aire forzado para forzar aire dentro del horno y en adición utilizan ventiladores de aire inducido para producir una presión negativa en las áreas de gas a bajas temperaturas de la caldera. Este es usualmente regresado en la sección economizadora. Normalmente, las presiones en el horno son mantenidas ligeramente por debajo de la presión atmosférica. Los ventiladores de aire inducido son similares a los ventiladores de aire forzado en diseño y capacidad de control.

Para las calderas de combustión de carbón pulverizado son requeridos ventiladores para proveer del aire primario al pulverizador estos ventiladores deben producir una presión que es mayor que esa en los ventiladores de aire forzado para producir flujo de aire dentro del horno. Esto puede ser logrado por el uso de aire atmosférico y un ventilador de alta presión de salida o esto puede ser hecho tomando aire succionado de un ventilador forzado y procurando la presión del valor requiendo.

Una combustión de aire precalentado es usualmente una parte del sistema generador de vapor. El aire frío del ventilador de aire forzado fluye dentro del precalentador de aire y es calentado por una chimenea de gas dejando la caldera. Dos tipos de precalentadores de aire son de uso común. Uno es un tipo tubo donde los gases calientes fluyendo a través de muchos tubos donde aire frío es circulado alrededor de los tubos. Estos son referidos como calentadores de aire tubular y son clasificados como del tipo recuperativo.

Un tipo de precalentador de aire de uso extensivo usado es el tipo regenerativo. En éste diseño muchas placas metálicas paralelas son colocadas para formar un gran calentador circular. El calentador es constantemente rotado con una mitad continuamente calentada por gases calientes de chimenea mientras el otro lado es enfriado por el ventilador de aire forzado. El calentador de tipo regenerativo puede ser montado con el eje cualquiera, horizontal o vertical.

CONDENSADORES

El vapor del escape de la turbina debe ser recuperado, ya que puede ser reciclado a la caldera. El condensador puede lograr esta operación condensando el vapor escapado en agua. En adición al convertir el vapor escapado de regreso en agua el condensador provee un pequeño escape de presión de la turbina que incrementa la eficiencia de la operación.

Diseño Básico (referirse fig III 5)

Grandes cantidades de agua enfriada deben ser bombeadas a través de miles de tubos que pasan a través de la sección de vapor del condensador para conseguir éste resultado. El agua de enfriamiento puede ser bombeada de lagos, ríos, océanos o torres de enfriamiento. Con el fin de prevenir serios problemas de goteo en el condensador, los materiales seleccionados para los tubos del condensador deben de ser compatibles con la química del agua de enfriamiento que será circulada. De acuerdo a estudios especiales de la disponibilidad y química del agua, que son tomados en cuenta desde una fase temprana de diseño.

Grandes cisternas son provistas al final de cada condensador para distribuir el flujo a los tubos condensadores. Las cisternas son provistas con orificios de acceso para permitir el acceso a ellos para propósitos de mantenimiento usualmente por tubos enchufables. Es necesario aislar y drenar una cisterna antes de que cualquier mantenimiento pueda ser efectuado. Grandes válvulas de aislamiento del condensador son normalmente colocadas en el sistema de circulación de agua para facilitar el mantenimiento.

Los condensadores son usualmente conectados directamente en el fondo de la turbina de baja presión. Juntas de expansión o soportes de salto son requeridos por el condensador para prevenir daño a la turbina o al condensador a causa de problemas de la temperatura entre vanos componentes.

Características operacionales

En operación, el vapor pasa del escape de la turbina directamente hacia dentro de los tubos del condensador. El agua vieja en los tubos remueve el calor del vapor y esto causa que este se convierte en agua.

Un vacío es creado por este proceso de condensación. La cantidad de vacío es determinado primariamente por:

- 1) El flujo de vapor de la turbina.
- 2) La temperatura de enfriamiento del agua.
- 3) La cantidad de aire que se filtra dentro del lado del vapor del condensador.

Debajo de los tubos hay una gran área de almacenamiento de agua para el vapor condensado llamado pozo caliente. El agua es bombeada del pozo caliente por las bombas de condensado para subsiguientes calentamientos y eventualmente de regreso a la caldera como agua de suministro.

Muchas otras líneas de varias partes de la planta de potencia también se agotan dentro del lado del vapor del condensador. Las fugas en estas líneas, sus válvulas y equipo relacionado puede permitir penetrar aire dentro del condensador ya que están bajo una alta presión de vacío. En adición a este aire, podrían también estar el aire que ha sido absorbido por el vapor durante el ciclo de vapor y es separado en la sección removedora de aire del condensador. El aire en el condensador impide la transferencia de calor del vapor al agua enfriada. Además, esto decrecienta el vacío y consecuentemente afecta la eficiencia de la turbina. Los condensadores son diseñados para separar el aire de la condensación del vapor y coleccionar este aire y el aire de las fugas en una sección especial removible. Frecuentemente, los tubos condensadores en la sección removible de aire son fabricados de diferente material que aquellos del balance del condensador.

Las bombas de vacío son usadas para remover aire de la sección removible del condensador y son operadas toda vez que el condensador está en uso. Bombas mecánicas tipo vacuométricas y bombas de vapor tipo chorro son usadas para este propósito. En algunos casos ambas bombas mecánicas y bombas de vapor tipo vacío son usadas en el mismo condensador para diferentes condiciones de carga.

Las fugas del tubo del condensador permiten al agua fría contaminar el condensado en el pozo caliente. Cuando la proporción de la fuga causa contaminación excesiva el condensado no puede ser utilizado en el sistema de agua de alimentación. Esta condición es determinada por la medición de conductividad que continuamente monitorean el condensado en el pozo caliente.

Para evadir la contaminación del sistema de alimentación del agua, el condensado es bombeado del pozo caliente al sistema de circulación de agua. Esto se conoce como desbordar el condensado. En grandes plantas de potencia los condensadores son usualmente divididos en

dos partes. Con este arreglo es posible operar la unidad a carga reducida mientras desbordamos el condensado en la otra mitad del condensador

CALENTADORES DE AGUA Y DEAREADORES.

Hasta este punto hemos descrito los componentes básicos de una estación de vapor generadora de potencia. Sin embargo, hay muchos más componentes requeridos para la preparación y desarrollo del proceso del fluido o para incrementar la eficiencia de la operación de la planta. Los calentadores alimentadores de agua están en esta última categoría ya que son usados para incrementar la eficiencia del ciclo de vapor. En un arreglo típico de condensado del pozo caliente es calentado por los calentadores alimentadores de agua antes de que sea retornada a la sección economizadora de la caldera. El vapor que ha sido parcialmente expandido a través de la turbina es usado para calentar el agua de alimentación. Los calentadores alimentadores de agua son tipo cubierto y tipo tubos con la excepción del calentador deareador. En operación el condensado es bombeado a través de los tubos y la extracción del vapor de la turbina dentro del lado de la cubierta del intercambiador (referirse a la fig. III 6).

Los calentadores deareadores son usados para separar aire y otros gases no condensables del agua de alimentación con objeto de prevenir corrosión en la tubería y la caldera. Es necesario mezclar el vapor de calentamiento y el agua de alimentación para obtener la separación requerida de aire y gases del agua de alimentación

La penetración del condensado al deareador es forzada a través de pipas de aspersión dentro del vapor de calentamiento de la turbina. La mezcla íntima y la acción de calentamiento libera gases del agua. La acción de mezclado es usualmente suficiente para separar cualquier burbuja de gas en el agua

El aire y los gases liberados del agua de alimentación son menos densos que el vapor de calentamiento. Ellos ascienden a la cima del deareador y son liberados a la atmósfera. Un orificio del condensador es usado para condensar vapor que está mezclado con el aire y gases.

Un gran tanque de almacenamiento es colocado debajo del deareador para recolectar el agua de alimentación deareada. Este tanque es requerido para proveer de la adecuada presión y almacenamiento par satisfacer los requerimientos de bombeo de la caldera.

La baja presión en los calentadores del agua de alimentación está localizada entre la bomba del pozo caliente de condensado y la bomba de alimentación de la caldera. Los

calentadores de alta presión están localizados entre la bomba de alimentación de la caldera y el economizador. Estos calentadores son muy similares en diseño, siendo la única excepción el requerimiento de un lado de mucha más alta presión de agua para los calentadores de alta presión yá que ellos operan a la presión de la caldera. Los calentadores están arreglados en el ciclo de proceso para calentar progresivamente el condensado por el uso progresivo de altas presiones de extracción de vapor de la turbina para cada etapa de calentamiento.

OTROS CAMBIADORES DE CALOR

La cubierta y los intercambiadores de calor tipo tubo son usados además a través de la planta para varias funciones de calentado y enfriado. Típico de estas funciones son el enfriado del estator del generador, enfriado del aceite lubricador de la turbina, el mantenimiento del enfriamiento para el equipo rotativo. El agua usada para enfriamiento de estos cambiadores de calor es usualmente agua tratada que es continuamente circulada en un sistema cerrado.

Los grandes cambiadores de calor llamados componente de enfriamiento de agua son usados para enfriar el circuito de enfriamiento de agua con agua del sistema de enfriamiento del condensador. Esta agua es bombeada a través de los tubos del cambiador de calor yá que es usualmente de menor calidad y el lado de la tubería del intercambiador de calor es más fácil de limpiar que el lado de la cubierta. Más de un componente del agua de enfriamiento usualmente prevé que esa continua operación pueda ser mantenida mientras un enfriador está siendo, limpiado o reparado.

El evaporador, el cuál funciona para preparar agua de calidad de condensado para la caldera que es también extensamente usada.

Los evaporadores usan vapor dentro de los tubos que están sumergidos en agua sin tratamiento para provocar que esta entre en ebullición. El vapor del agua calentada es condensada en un recipiente separado y entonces sumado al sistema de condensado.

Cuando el vapor es usado para calentar el combustóleo en estaciones quemadoras de combustible existe la posibilidad de contaminación del vapor de la caldera por fugas de combustible en los cambiadores de calor. Para impedir la contaminación del sistema de vapor por fugas de petróleo en los cambiadores de calor un recalentador es usado (una segunda caldera). Un recalentador es simplemente una cubierta y un tubo intercambiador de calor que usa el vapor del proceso de la caldera para calentar una fuente separada de vapor que es usado para el calentamiento del combustóleo, o del combustóleo.

BOMBAS

Las bombas son componentes extremadamente importantes de una planta de potencia a base de vapor. Muchos tipos de bombas en un gran rango de tamaños pueden ser usadas. Las típicas bombas para algunos de los sistemas más comunes son las siguientes (referirse a fig III.7 y III.8).

Bombas de Agua de Enfriamiento

Las bombas del agua de enfriamiento, también llamadas bombas de circulación de agua, son usadas para bombear agua de enfriamiento a través de los tubos del condensador. El agua de enfriamiento puede provenir de ríos, lagos, torres de enfriamiento o presas.

Las bombas de agua de enfriamiento operan a una velocidad específica y no se hace ningún intento para mantener un control continuo del flujo. Estas bombas tienen grandes capacidades, en el orden de 50,000 a 250,000 galones (189,250 a 946,250 litros) a razón de flujo por minuto, y bajas cargas, usualmente de 25 a 35 pies (7.6 a 10.7 metros) para plantas de un solo paso usando agua de enfriamiento de ríos u océanos. Las bombas para las torres de enfriamiento en las plantas usualmente requieren cargas de 50 a 70 pies (15.2 a 21.3 metros). Estas bombas son válidas para cualquier tipo de bombeo, horizontal y vertical.

La selección de bombas horizontales y verticales para este tipo de servicio debe ser decidido para cada proyecto ya que hay muchos factores involucrados.

El agua de enfriamiento para las bombas entra a través de los entrepaños de desecho en un diseño especial de la estructura de la toma para captar los desechos del bloqueo de los tubos.

Motores eléctricos de velocidad constante son usados para controlar las bombas de agua de enfriamiento.

Bombas de Condensado

Las bombas que remueven el condensado del condensador del pozo caliente, el cuál está bajo presión vacuométrica y lo forza al sistema de tubería del condensado son llamadas bombas de condensado o bombas pozo caliente.

Las bombas de condensado son generalmente de tipo vertical, cadalzo múltiple, con controladores de motor eléctrico. Ya que el condensado en el pozo caliente está en condición saturación, es necesaria proveer la profundidad adecuada de la entrada de la bomba para evitar cavitación. Esto es realizado a través de tener el agua en la tubería del pozo caliente a los cilindros de metal montados verticalmente en una cavidad en los cimientos de la turbina. La bomba de condensado es montada en el cilindro vertical de acero.

El espacio para la bomba está diseñado para dar el correcto hundimiento del primer cadalzo de bomba para evitar cavitación

El flujo de la bomba de condensado va a través de gran número de calentadores de agua de alimentación y entonces a través del calentador deaereador. Las válvulas de control entre la bomba de condensado y el calentador deaereador controla el flujo de condensado para mantener un constante nivel en el calentador deaereador.

Bombas de Alimentación de Caldera

El agua del calentador deaereador debe ser bombeada hacia dentro de la caldera. Esto requiere una bomba de alta presión y múltiple cadalzo. Las bombas para este tipo de aplicaciones requieren grandes cantidades de potencia. Los controles de alimentación de agua a la caldera pueden ser motores eléctricos, operando a través de coples hidráulicos de velocidad variable o turbinas de vapor de velocidad variable.

El flujo de agua de alimentación a la caldera debe ser variable para permitir a la caldera suministrar una cantidad variable de vapor a la turbina en respuesta a la demanda del control de la carga. El control de este flujo puede ser logrado por válvulas de alimentación, o variaciones en la velocidad de la bomba por control hidráulico de coples de velocidad, o por el cambio de velocidad en el controlador de la turbina.

Bombas elevadoras de Presión

Las plantas mas grandes usan una bomba de elevación de presión de velocidad de alimentación fija de caldera para bombear agua del deaereador al lado de succión de la bomba de alimentación de la caldera. Una bomba de elevación de presión provee de alta presión de condensado a la bomba de alimentación para satisfacer sus requerimientos de presión de succión bajo toda condición de carga. Por el uso de una bomba de elevación de presión es

posible ajustar el diseño de la bomba de alimentación para conseguir mayor economía y eficiencia en el total del diseño.

Ambos, la bomba de alimentación de la caldera y la bomba de elevación de presión de alimentación de caldera deben tener un cierto mínimo de flujo de pasos para impedir daño a las bombas. La cantidad de este flujo varía debido a la diferente manufactura de las bombas. Los sistemas automáticos de control de flujo mínimo deben ser provistos para cada bomba para evitar demanda de las bombas cuando los rangos del flujo del agua de alimentación son automáticamente decrementados por acción del sistema de control del agua de alimentación.

Bombas de Calentadores de Drenaje

Las bombas de calentadores de drenaje son algunas veces usados para bombear drenajes condensados de los calentadores de agua de alimentación de regreso al sistema de condensado. Estas bombas son similares a las bombas de condensado ya que también deben de bombear agua saturada o muy cercana a la saturación con una muy pequeña elevación de carga permitida.

Bombas de Circulación de Calderas

Las bombas de circulación de caldera son requeridas por calderas que no han sido diseñadas para circulación natural. Estas son bombas especiales las cuales proveen un alto rango de flujo a bajas cargas. Ya que ellas operan a presiones de caldera y el sellado es un problema estas son usualmente del tipo "canned motor". Este tipo de bomba no posee un sellado dinámico. Cuando las bombas de circulación de caldera son usadas éstas son usualmente suministradas por el fabricante de la caldera.

Bombas de Agua de Enfriamiento

El agua de enfriamiento para el sistema cerrado de enfriamiento es usualmente bombeada del sistema principal de agua de enfriamiento a través de el cambiador de calor del agua de enfriamiento. Las bombas para este servicio son usualmente bombas de catalzo unitario. Estas pueden ser horizontales o verticales dependiendo de los requerimientos particulares del proyecto. Usualmente más de una bomba es utilizada para dar confianza a este importante proceso.

Bombas de Combustoleo

Cuando las estaciones utilizan petróleo para encendido muchas bombas de combustoleo son requeridas para operacion de este sistema.

Las bombas de combustoleo primarias son usadas para suministrar petróleo de los tanques de almacenamiento al sistema secundario de combustoleo localizado cerca de la caldera. Normalmente, estas son bombas de desplazamiento positivo, del tipo tornillo ratativo que son capaces de bombear combustoleo de alta viscosidad. El combustoleo es calentado en los tanques de almacenamiento para reducir la viscosidad a un valor razonable. En caso de que haya problema con el calentamiento, el sistema de bombas de desplazamiento positivo que es utilizado tiene la capacidad de bombear combustoleo frio. Son requeridas dos bombas primarias de combustible por unidad para proveer la operacion continua de la planta de tal forma que una bomba puede estar en mantenimiento mientras la otra esta en servicio.

Las válvulas de alivio son siempre requeridas en el escape de las bombas de combustible de desplazamiento positivo para prevenir un daño accidental del sistema. Las descargas de las válvulas de alivio son regresadas a la succión de la bomba

Las bombas de combustoleo secundarias son del tipo cadaizo centrifugo para suministrar presiones de combustible de 900 a 1100 psi y aireador de 250°F. a los quemadores de petróleo. Estas bombas son usadas en un sistema de petróleo de recirculación constante a los quemadores de combustoleo. La alta presión es requerida para lograr la correcta aspersión para el quemado del combustoleo en la caldera. El petróleo que no es recirculado al sistema pero fué esparcido dentro de la caldera a través de las boquillas es entonces abastecido por calentamiento del petróleo del sistema primario de petróleo

Otras Bombas

Muchas otra bombas son utilizadas en la planta. Ellas varian en capacidad y tipo ya que pueden ser usadas en una variedad de sistemas para diferentes aplicaciones. Algunas de esa bombas son: bombas de pozo, bombas de alimentación química, bombas de transferencia ácida, bombas de transferencia cáustica, bombas de aceite lubricante, bombas de agua doméstica, bombas de agua de tratamiento y bombas de amergencia para el sistema contra incendios.

COMPRESORES DE AIRE

EL aire comprimido es vital para la operación de la planta de tal modo que un sistema de aire comprimido confiables es requerido.

Los compresores son movidos por motores eléctricos y son enfriados con agua para su operación continua.

Puede haber tres requerimientos para aire comprimido y que son suficientemente diferentes para permitir el uso de tres diferentes compresores. Esto no es impositivo y cada diseño de planta debe decidir si un tipo de compresor con diferente diseño de proceso de aire es mejor elección que compresores individuales para encontrar los requerimientos específicos del proceso.

El aire para operación de controles neumáticos en la planta debe de estar muy limpio y muy seco para proveer una operación óptima de los instrumentos. Cuando un compresor es provisto para este servicio, este debe de ser del tipo nolubricado. El tipo más comúnmente usado es un compresor recíprocante con pistones de anillos con auto-lubricación no metálica. La presión usual requerida es alrededor de 125 psi (8.79 kg/cm²).

El aire de servicio, de alrededor de 125 psi (8.79 kg/cm²), no es requerido que este tan limpio y tan seco como el aire de instrumentación, y por esta razón los compresores de aire de servicio pueden tener pistones o tornillos lubricados por aceite.

Los tipos recíprocantes son ampliamente usados pero los tipo centrífuga o tipo tornillo no lo son tanto. Otra vez la selección debe ser regida por los requerimientos específicos de operación de la planta y consideraciones económicas.

Los compresores de aire sopladores de cenizas requieren grandes cantidades de aire a alta presión. Los compresores de cadalzo múltiple centrífuga son usualmente seleccionados para este tipo de servicio. Presiones de 300 a 375 psi (21.1 a 24.4 kg/cm²) son generalmente requeridos para este servicio.

Algunas estaciones usan compresores de aire centrífugales de alta presión para todo el aire comprimido de servicio. El aire de instrumentación y de servicio son tomados del compresor de una etapa intermedia a 8.79 kg/cm². El aire de instrumentación es entonces procesado a través de filtros y secadores para conseguir las condiciones requeridas. El aire de servicio es usualmente utilizado directamente del compresor.

VALVULAS

Las válvulas son probablemente el componente utilizado más comúnmente en una planta de potencia. Estas varían de válvulas de gran circulación de agua que pueden medir varios pies de diámetro a pequeñas válvulas de 8 mm de diámetro en sistemas de aire de instrumentación. Estas pueden ser operadas manual, eléctrica, neumática o hidráulicamente. Las válvulas operadoras de potencia son usadas para encender y apagar y como reguladores tipo controles.

Las válvulas están disponibles en muchos tipos de cuerpos y muchos tipos serán usados en cada planta. Cuerpos típicos de válvulas son de globo, compuerta, mariposa y bola. En adición a los diferentes diseños de cuerpos son requeridas válvulas de diversos materiales para obtener las condiciones óptimas de servicio. Naturalmente, esto resulta en una gran variedad de válvulas y materiales en cada planta.

SISTEMAS Y EQUIPOS ELECTRICOS

En las siguientes líneas vamos a hablar del generador en mayor detalle, y discutiremos otros equipos y sistemas en una típica planta de potencia.

GENERADOR PRINCIPAL DEL SISTEMA

Antecedentes

Existe gran cantidad de equipos de grandes dimensiones en la planta típica de potencia. Una de las más grandes es el generador principal. La mayoría de los generadores modernos son manejados por un sistema de turbina a 3000 ó 3600 rpm y produce la potencia eléctrica de salida de la planta...más la energía que es requerida para manejar cargas auxiliares (como ventiladores y motores de bombas) para mantener la potencia de la planta (podemos llamarla carga de la casa). Los generadores de dos polos que operan a 50 hz son manejados a 3000 rpm., y esos generadores que operan a 60 hz son manejados a 3600 rpm. Los generadores de cuatro polos operan a 1500 rpm para producir potencia a 50 hz, o a 1800 rpm para producir potencia a 60 hz, de acuerdo con la velocidad síncrona:

$n_s = 120/f$ rpm, donde f = frecuencia, p = número de polos.

Produciendo energía Eléctrica.

La forma en que la electricidad es producida dentro de un generador puede ser explicada más fácilmente describiendo la forma en que trabaja un generador simple. Un generador muy simple consistiría de un magneto permanente girando hacia una bobina de alambre. El movimiento del imán a través de la bobina induce un voltaje en ella. Cuando una carga tal como una lámpara es conectada a la bobina, una corriente fluirá a través de ambas, la lámpara y la bobina haciendo que la lámpara encienda, y haciendo un poco más difícil mantener el imán en movimiento.

La corriente en la bobina se mantendrá conforme el polo norte del imán se acerque o se aparte de la misma. La potencia producida en este generador simple estará alternando la corriente de potencia. Esto es, el voltaje empieza en valor cero, y se incrementa hacia el máximo en dirección inversa y regresa a cero, entonces se incrementa hasta su valor máximo en sentido inverso y regresa a cero antes de iniciar de nuevo. Para 50 Hz. de potencia, el imán debe girar 50 veces por segundo o 3000 por minuto. Con solo una bobina será generada potencia monofásica.

Si el generador tiene tres bobinas espaciadas 120° alrededor del imán produciendo un par cuantificable que tiende a detener el giro del imán. La cantidad de potencia mecánica requerida para mantener el movimiento del imán es un poco mayor que la potencia eléctrica que es producida. Los generadores modernos son muy eficientes, del orden de 99.6 a 99.8% de eficiencia.

El generador en una planta de potencia es una máquina diseñada y construida cuidadosamente, que opera en la forma que lo hace un generador simple de tres bobinas.

Desarrollo del generador

Los generadores de turbinas de vapor en el rango 5,000 a 10,000 Kw. fueron desarrollados antes de la primera guerra mundial. A mediados de 1920, la capacidad se había incrementado a 20/25 Mw. El rango de turbinas de vapor de 50 Mw fueron puestas comercializadas antes de la segunda guerra mundial. La era de la post-guerra observo un desarrollo acelerado de las turbinas de vapor. Las capacidades alrededor de los 100 Mw por mediados de los cuarentas, 120 Mw para 1952 y continuaron duplicándose cada 5 años hasta 1967 cuando la capacidad alcanzó los 1000 Mw. Las unidades más grandes en los últimos años generan alrededor de 1300 Mw. El voltaje más alto para plantas generadoras está alrededor de

27,000 Volts, el cual es un voltaje mucho menor del voltaje requerido para transmitir potencia a los lugares donde será utilizada, ya que las plantas de potencia no son usualmente situadas cerca de los principales centros de carga. Por lo tanto de transformador elevadores son necesario para elevar el voltaje a un elevado nivel de transmisión. Afortunadamente la potencia perdida en la transmisión es muy pequeña, ya que los transformadores grandes tienen alrededor de un 99% de eficiencia.

Bus Generador

Un bus ducto aislado de una fase, con aire forzado de enfriamiento, es usualmente conectado a los transformadores elevadores de potencia. Líneas aéreas son utilizadas para llevar la potencia de las terminales de alto voltaje de los transformadores elevadores al sitio de maniobras de alto voltaje, donde son hechas las conexiones a las salidas de las líneas de transmisión. Los niveles de voltaje de transmisión típicos son: 115 Kv, 230 Kv, 345 Kv, 380 Kv y 400 Kv, aun que actualmente ya se están utilizando voltajes de 500 Kv a 1000 Kv.

Carga auxiliar

La potencia para cargas auxiliares es usualmente suministrada a través de unidades de transformadores auxiliares conectadas directamente al bus del generador para uso cuando el generador esta en funcion.

Generador

El diseño básico de grandes generadores usados con turbinas de vapor, es básicamente una máquina de dos polos con un largo y esbelto motor. Los generadores son directamente acoplados a la turbina con el resultado de que las velocidades son en gran medida determinadas por las condiciones del vapor, el vapor a alta presión se aplica a generadores de 3000 a 3600 RPM mientras que las unidades para vapor a bajas presiones son diseñadas para 1500 o 1800 RPM con cuatro polos y también rotor cilíndricos .

El generador consiste de tres piezas principales, el rotor, el estator, y la carcasa. El rotor lleva los devanados magnéticos que producen el campo magnético necesario para el voltaje de generación. El estator lleva los tres principales devanados de las fases localizados en la

armadura de hierro necesaria para complementar el circuito magnético para el flujo desde el campo rotativo. La carcasa provee la estructura soporte para la armadura incluidos los enfriadores, cojinetes soportes y cubiertas. Es hermetico y provee el alojamiento en donde el hidrógeno para enfriamiento es circulado. Dependiendo del tamaño y las restricciones de embarque en la ruta, los generadores pueden ser embarcados completamente ensamblados, con el rotor desmontado, o con el rotor, armadura y diversas secciones de la carcasa embarcadas separadamente.

Los devanados principales son introducidos a la carcasa por medio de bujes montados en una caja guía, que también puede ser desmontada para embarque.

Conceptos básicos. El movimiento del campo magnético del rotor pasado el devanado principal a velocidad síncrona induce el voltaje deseado en el devanado. Como más cargas externas están conectadas, el voltaje de salida se mantiene constante debido a incrementos en la rotación del campo, la salida de corriente se incrementa (potencia) y es requerido más par motor de la turbina para mover el rotor. Un equipo de regulación automático es provisto para mantener el voltaje del generador constante y la velocidad de la turbina (frecuencia) constante respecto a la carga de salida.

Los generadores y transformadores son normalmente dimensionados en sus salidas expresados en megavolt-ampères (MVA), y megawatts (MW).

Sistemas de excitación - Los principales sistemas de excitación son:

- a) Tipo anillos rosantes utilizando un un generador rotativo de CD (Convencional)
- b) Combinación de alternador de C.A. y rectificador (ejemplo Alterrex , como se muestra en la figura 1, o Althyrex)-
- c) Generrex
- d) Brushless
- e) Static- Transformador rectificador alimentado a través de anillos rosantes.

Estos sistemas proveen de potencia de corriente directa al campo del devanado del generador, y es regulado para mantener el voltaje de salida del generador constante según la corriente de carga crece ó decrece.

Rangos

Los diseñadores de generadores seleccionan los niveles de voltaje y conexión de los devanados los cuales ellos sienten son necesarios para óptimos diseños dependiendo sobre los rangos de salida. En la actualidad los rangos de los niveles de voltaje de 18 a 27 Kv aunque voltajes ligeramente mayores pueden ser utilizados.

El arreglo de conexión externa más común lleva las dos terminales de cada uno de los devanados de las tres fases a través de un total de seis bujes para permitir la selección de los usuarios de cualquiera de las de las conexiones, con el último juego para ser utilizado externamente para el neutro.

Enfriado

Los generadores del tipo de los que estamos discutiendo están preparados para enfriamiento mediante hidrógeno presurizado. Esto es la carcasa es llenada con hidrógeno bajo presión por encima de 75 psig (5.27 Kg/cm²) el cuál es circulado por ventiladores montados en el rotor y en el movimiento es enfriado por cambiadores de calor gas a agua. En adición, para los rangos grandes, un conductor de enfriamiento directo al estator es empleado utilizando agua o hidrógeno. En algunos grandes generadores en el rango de los 1300 a 1500 Mw el agua de enfriamiento es también empleada.

En la típica agua de enfriamiento del estator, agua desionizada es introducida en cada una de las bobinas en uno de los extremos y fluye en un solo sentido a la otra terminal de la máquina. El circuito hidráulico es cerrado externo a la carcasa a través de una bomba, intercambiador de calor y filtro. El control automático de temperatura es necesario para mantener la temperatura de operación dentro de los límites durante las condiciones generales de la carga.

La presión del agua dentro del generador es mantenida por debajo de la presión del hidrógeno por lo que cualquier filtración es de gas dentro del sistema líquido. Una filtración puede ser detectada por la presencia de hidrógeno en un burbujeador de gases en el circuito externo. Sellos de aceite tipo laberinto son provistos en flecha para prevenir pérdidas de hidrógeno del generador.

El hidrógeno como medio de enfriamiento tiene mejores propiedades de conducción de calor que el aire y menor densidad resultando en menores pérdidas lineales y mayor eficiencia

del enfriado. El hidrógeno atmosférico puro no soportará la combustión dentro del generador. El equipo de control de hidrógeno es provisto para mantener la pureza y presión del gas. El dióxido de carbono es utilizado como medio de eliminación cuando el gas dentro de la carcasa es cambiado de aire a hidrógeno o de hidrogeno a aire. Una carcasa normal es diseñada con la expectativa de resistir un accidente durante la purga a aproximadamente 2 psig ó 0.14 Kg/cm², pero no está construida para resistir una explosión interna durante la presión máxima.

TRANSFORMADORES PRINCIPALES

Construcción

Los transformadores elevadores de generadores estan llenos de aceite dieléctrico y de construcción tipo pierna o tipo acorazado. La mayor parte de los componentes son el tanque, piernas y bobinas, enfriadores y bujes. El tanque sirve como la estructura de soporte para las piernas y bobinas, así como contenedor del aceite aislante y enfriador. Los enfriadores o intercambiadores de calor son usualmente soportados por el tanque como lo son los protectores de rayos. Sin embargo ambos pueden ser montados separadamente si el tamaño o el arreglo físico lo hace deseable.

Las terminales de los bobinados de alto voltaje y bajo voltaje son llevados fuera del cubierta del tanque a través de bujes. Como en el caso de los generadores , ha sido necesario usar dos bujes por fase en el bobinado de bajo voltaje en algunos rangos grandes debido a las limitaciones de corriente en los bujes.

Aunque ninguna parte del transformador es un diseño común es práctico en las estaciones grandes para proveer un sistema de inundación de agua al transformador para limitar daño en caso de incendio. Una zanja con rocas se construye usualmente alrededor del transformador para prevenir una posible fuga de aceite en la eventualidad de una ruptura del tanque.

Debido a las limitaciones de embarque los transformadores elevadores son normalmente embarcados con el aceite, enfriadores bujes y contenedores separados. Los tanques son llenados con un gas inerte, usualmente nitrógeno, bajo presión para evitar la humedad de los bobinados aislándolos para el embarque. Los tanques son también diseñados para resistir una completa presión vacío durante el proceso de llenado del aceite. Un llenado vacuométrico elimina la posibilidad de que gas quede atrapado en los bobinados mientras el aceite es bombeado dentro.

Enfriamiento

Como se mencionó anteriormente, los transformadores elevadores son llenados de aceite dieléctrico, sirviendo como medio transmisor de calor, así como aislante eléctrico. Las unidades de grandes dimensiones son usualmente equipadas con bombas para circular el aceite a través de radiadores, y ventiladores para enfriar los radiadores (enfriamiento FOA). Enfriamiento de aceite forzado al agua (FOW) es usualmente disponible alrededor del mismo precio para el enfriamiento equivalente FOA pero es raramente usado.

Evaluación de Pérdidas

Es una práctica común cuando se analizan los parámetros de un transformador incluir una evaluación de pérdidas. La penalidad a ser utilizada es normalmente expresada en dólares por kilowatt y es además dividida en pérdidas de carga y pérdidas de no carga. Las pérdidas de no carga son primariamente pérdidas del hierro y permanecen esencialmente constantes mientras el transformador es energizado. Las pérdidas de carga son primariamente pérdidas del recipiente, con algunas pérdidas adicionales del equipo de enfriamiento y varían con la carga del transformador. Ya que las pérdidas del contenedor varían al cuadrado de la carga, el factor de pérdida del contenedor puede ser aproximado al cuadrado del factor de carga del transformador sin conocer las pérdidas reales en watts. Los dólares por Kilowatts los cuales serán utilizados en un proyecto específico para ambas pérdidas de cargas y no cargas son normalmente incluidas en la especificación para guiar al fabricante en la optimización del diseño del transformador.

BUS GENERADOR

Construcción

El bus generador principal (conductores principales) siguen al diseño de la fase aislada excepto para generadores de alrededor de 100 MVA, y menores pueden usar cables conductores en múltiple, soportados por racks o charotas. Una fase aislada de un bus generador es mostrada en la figura 2.

El bus de fase aislada consiste de un solo conductor para cada una de las tres fases alojadas en un gabinete cilíndrico de aluminio. El conductor puede ser cualquiera, cobre o

aluminio tubular y es soportado a intervalos regulares dentro del gabinete mediante aisladores de porcelana.

En buses de altas capacidades, todos los conductores soldados y gabinetes proveen una trayectoria continua para las corrientes de conductor y gabinete y evitan los problemas de calentamiento, los cuales seran causados por las uniones.

En el diseño de conductores soldados, la corriente de gabinete de la misma magnitud que la de conductor es permitida a circular. Estas corrientes de gabinete inducen un campo magnético que se opone y cancela el campo producido por la corriente del conductor.

De esta forma el campo magnetico externo al bus es insignificante y el efecto de calentamiento en la construcción de acero y el reforzamiento de barras en concreto puede ser ignorado. En las primeras consideraciones de diseños de bus de fase aislada tienen que ser tomadas en cuenta para la protección de todo el acero en la cercania del bus del efecto de calentamiento del campo magnético.

Clasificación:

Los buses son actualmente disponibles en rangos de 3000 A a alrededor de 40,000 A con enfriamiento de aire forzado. Este rango de capacidades colocarán unidades hasta de alrededor 1200 a 1500 MW dependiendo del voltaje del generador.

Enfriamiento

Los buses con rangos hasta los 12,000 amperes son autoenfriados, los buses con rangos por encima de los 12,000 amperes son usualmente enfriados forzosamente . El enfriamiento forzado, aire circulado en el espacio entre el conductor y la superficie interna del gabinete para llevar hacia afuera el calor producido por las pérdidas $R I^2$ del conductor y el gabinete. El aire es circulado a través de una torre de aire intercambiadora de calor, la cual es montada en un gabinete con soplador de circulación. El enfriamiento forzado reduce la falla física del bus alrededor de la mitad. Fijando este otro camino, el enfriamiento forzado incrementaría la capacidad de un diseño autoenfriado alrededor de un 100%.

Por ejemplo las dimensiones y peso de un bus autoenfriado de 12,000 amperes son aproximadamente los mismos que para un bus enfriado forzosamente de 24,000 amperes.

Unidad Transformadora Auxiliar

Durante la operación normal de una planta de potencia, la potencia eléctrica requirió de manejar cargas auxiliares tal como ventiladores y bombas que dentro de la planta serán suministrados desde la unidad de transformador auxiliar, la cuál está conectada a las puntas principales del generador. La unidad de transformador auxiliar es usada para reducir el voltaje al nivel requerido por los grandes motores en la planta. Los transformadores son del tipo de los llenados con aceite, con radiadores, y con ventiladores para enfriar los radiadores (enfriamiento OA/FA).

SISTEMAS DE POTENCIA AUXILIAR

Introducción

Los componentes principales del sistema de potencia auxiliar son la unidad de transformador auxiliar, transformador elevador, switch de distribución de medio voltaje, centros de carga de 480 V, centros de control de motores, y cables. El sistema de potencia auxiliar suministra potencia a todos los motores, calentadores y otras cargas eléctricas dentro de la planta. La carga total del sistema auxiliar puede ir desde alrededor de 5 % al 14% de la potencia total generada por la planta dependiendo del tipo de planta y de los requerimientos adicionales tales como precipitadores y depuradores, para torres de enfriamiento.

El sistema auxiliar es comunmente dividido en dos partes las que son mantenidas separadas e independientes como sea posible para permitir la operación de una unidad a aproximadamente la mitad de la carga en caso de que la mitad del sistema deba ser puesto fuera de servicio.

Consideraciones de diseño de un sistema auxiliar.

Dos importantes requerimientos tienen una fuerte influencia en el diseño de sistemas auxiliares. La primera es tener la capacidad de desconectar la potencia del equipo o cables cuando un corto circuito ocurre en ellos; la segunda es la capacidad, esta es la necesidad de mantener el voltaje de los motores elevado lo suficiente para arrancarlos exitosamente.

Los cortos circuitos raramente ocurren en los sistemas auxiliares de una planta de potencia. Sin embargo el equipo eléctrico y cables en la planta están todos diseñados para

soportar el peor corto circuito de tal forma que solo el equipo que ha tenido el corto circuito tendrá que ser retirado de servicio. Evidentemente esto costaría menos si el sistema fuera diseñado de tal forma que el interruptor principal fuera usado para interrumpir todos los cortos circuitos y el circuito auxiliar entero fuera seccionado siempre que un corto circuito ocurriera, pero el ahorro sería perdido la primera vez que un corto circuito ocurriera, debido al costo de mientras la planta está parada. Lo que es más, es importante prevenir cortes súbitos de potencia a todos los ventiladores y bombas al mismo tiempo, ya que algunos de ellos deben seguir funcionando para poder liberar el paro de la planta.

El segundo requerimiento involucra el arranque de motores. Todos estamos familiarizados con la forma en la que las lámparas parpadean en la casa cuando el motor en la lavadora arranca. Las lámparas parpadean porque el motor toma de 4 a 6 veces la corriente total de carga hasta que el motor alcanza su velocidad nominal. El gran consumo de corriente causa una gran caída de voltaje en el sistema. El voltaje suministrado a los motores debe mantenerse lo suficientemente alto o estos no podrán desarrollar suficiente potencia para llegar a su velocidad de operación; esto redundará en un sobrecalentamiento del motor. El requerimiento de arranque del motor puede ser conseguido manteniendo la caída de voltaje en los transformadores muy pequeña. Sin embargo pequeñas caídas de voltaje en los transformadores resultarán en grandes corrientes de falta cuando un corto circuito ocurra.

Puede ser visto que los dos requerimientos puestos sobre y debajo de los límites en las caídas de voltaje en los transformadores, ya que las magnitudes de las corrientes del corto circuito deben ser mantenidas dentro de los rangos de los equipos comercialmente disponibles. Cuando motores realmente grandes son requeridos en la planta, la única forma de conseguir los límites mayor y menor en una caída de voltaje es utilizar mayores sistemas auxiliares de voltaje. Los motores en muchas plantas de potencia están dimensionados como sigue:

1/2 HP hasta 200 HP en 480 V (bajo voltaje)

250 HP hasta 3500 HP en 4160 V (medio voltaje)

alrededor de 3500 HP hasta 13800 V (medio voltaje)

Sistemas de medio voltaje

Clases de voltaje

Los tres más comúnmente usados niveles de voltaje de media tensión en América son: 13.8 KV, 6.9 KV y 4.8 KV.

El tablero del interruptor

Interruptores de aire o mínimo de aceite en los tableros del interruptor son usados para encender o apagar la potencia a grandes motores. Los motores pequeños utilizan interruptores de aire eléctricamente operados. Los motores de 50 HP y menores hacen uso de combinaciones de arrancadores de motores empleando contactores con interruptores de caja moldeada para protección de un corto circuito.

Condiciones de aterrizamiento

Los sistemas de medio voltaje son resistencias aterrizadas para ayudar a prevenir altos elevaciones de voltaje que vienen de ellas. El aterrizamiento es hecho a través de una resistencia tal que una pequeña demanda ocurrirá en el equipo en caso de una falla a tierra en ella pero dimensionada para permitir suficiente corriente para fluir en una falla y proveer una protección rápida.

SISTEMAS DE BAJO VOLTAJE

Centros de carga de 480 V

Los centros de carga son usados para suministrar potencia a los motores en el rango de 60 HP a 200 HP. Cada centro de carga consiste de un transformador al bajo voltaje de 480 V, y un tablero interruptor metalclad con interruptores en aire para encender o apagar la potencia de cada carga.

Centros de control de motores en 480 V

Los centros de control de motores son usados para suministrar potencia a 480 V a motores de 50 HP hacia abajo.

Consideraciones de aterrizamiento

Los sistemas de 480 V son sólidamente aterrizados para prevenir grandes incrementos de voltaje provenientes de ellos y para facilitar una rápida interrupción de una falla.

Lámparas fluorescentes, de vapor de mercurio, sodio a alta presión e incandescentes son usadas en diferentes áreas de la planta para proveer de adecuados niveles de iluminación. Las lámparas incandescentes suministran buena iluminación pero son mucho menos eficientes que los otros tipos en términos de operación de potencia.

Planta de potencia de 120V

La potencia confiable es suministrada a 120V C.A. para control y requerimientos de computadoras. Es regulada tal que el voltaje suministrado a los gabinetes de control y sistemas de computadoras se mantendrán constantes.

Planta de potencia de 125 V CD

Baterías son usadas para proveer de potencia a las bombas de aceite de emergencia, luces de emergencia y el control esencial de equipos cuando toda la potencia de C A se ha perdido. Las baterías son usualmente dimensionadas para proveer potencia durante dos horas con ninguna disponibilidad de potencia de C A. Los cargadores de baterías son la fuente normal de potencia para las cargas de CD que deben estar encendidas continuamente. Los cargadores están dimensionados para recargar las baterías mientras suministran energía a las cargas de emergencia seguida de la restauración de la potencia de CA. El uso de muy grandes motores hace necesario suministrar un sistema de un voltaje de 250 V CD en adición al sistema de 125 V.CD

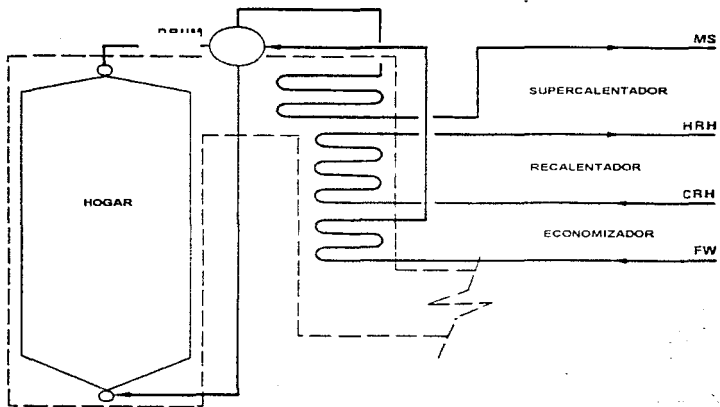
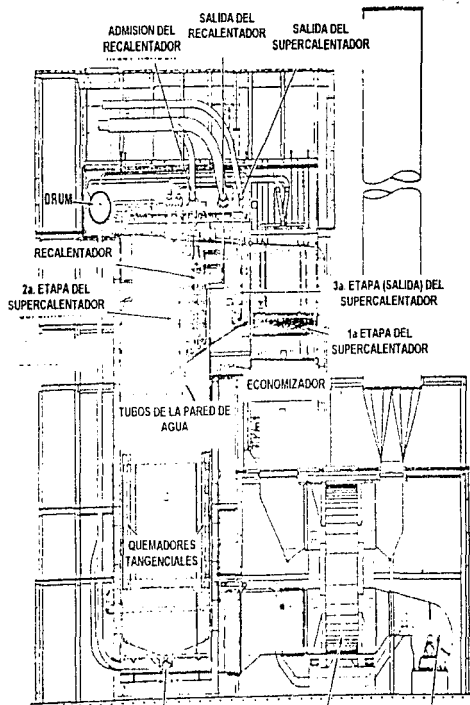


Figura III.1 SISTEMAS DE PRESION DE LA CALDERA



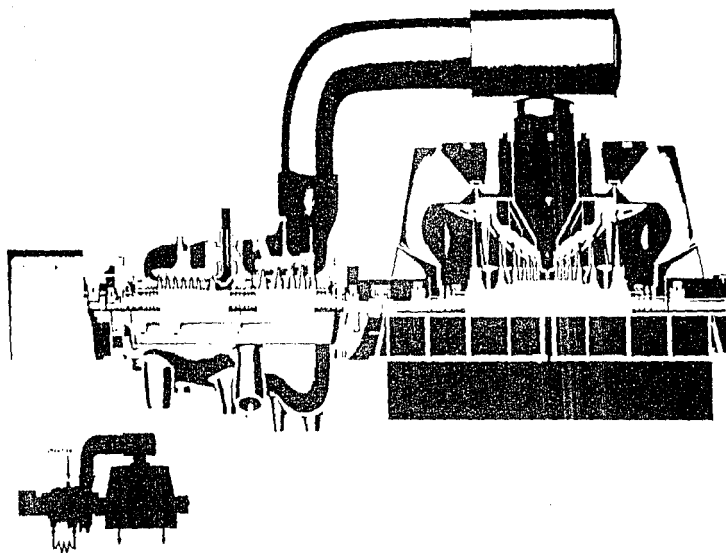


Figura III.3a TURBINA DE VAPOR

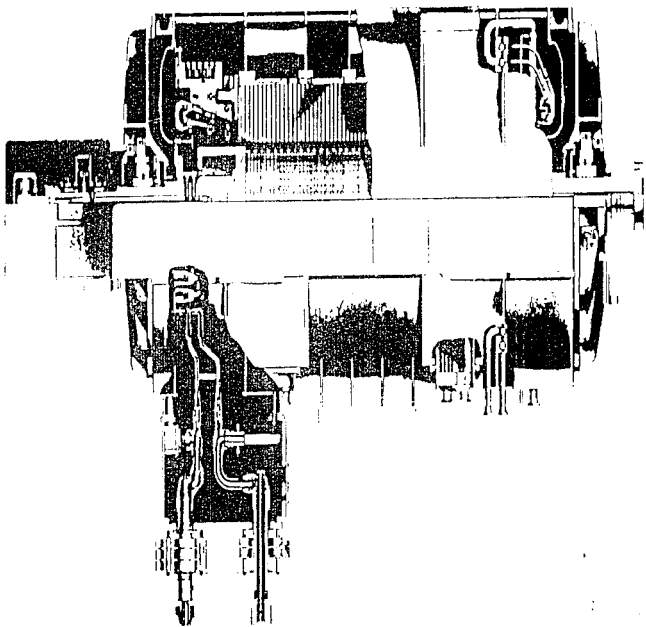
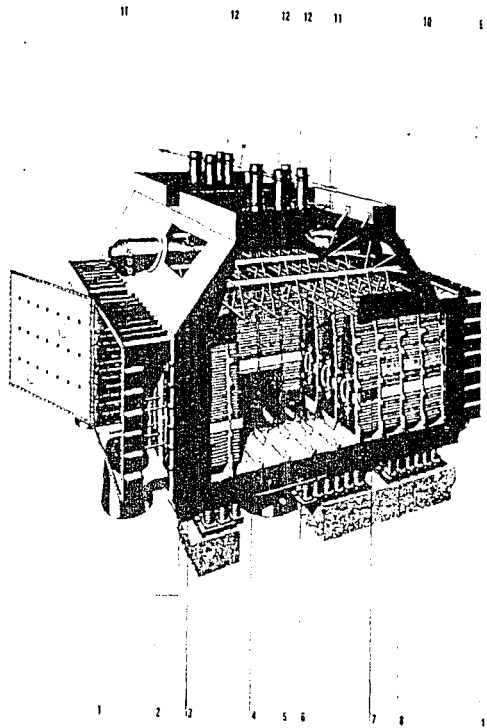


Figura III.3b GENERADOR



- 1.- ENTRADA A LA RECAMARA DE AGUA
- 2.- RECAMARA DE VAPOR
- 3.- BANCO DE TUBOS
- 4.- TANQUE COLECTOR DE CONDENSADO
- 5.- EXTRACCION DE CONDENSADO
- 6.- MONTAÑAS DE SUSPENSION DE RESORTE
- 7.- ENFRIADOR DE AIRE
- 8.- PLATO SOPORTE
- 9.- SALIDA DE LA RECAMARA DE AGUA
- 10.- DOMO DE VAPOR
- 11.- ENTRADA DE VAPOR
- 12.- SALIDAS DE VAPOR HACIA LOS ALIMENTADORES DE AGUA

Figura III.4 CONDENSADOR DE SUPERFICIE

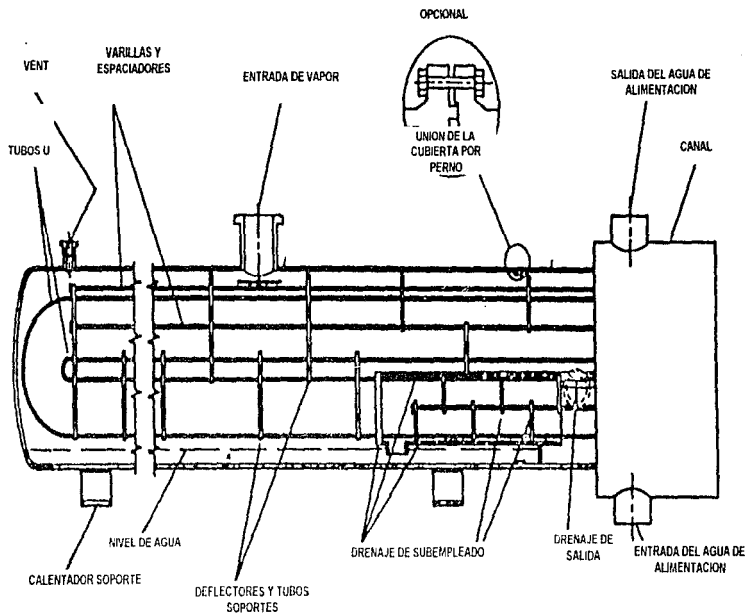
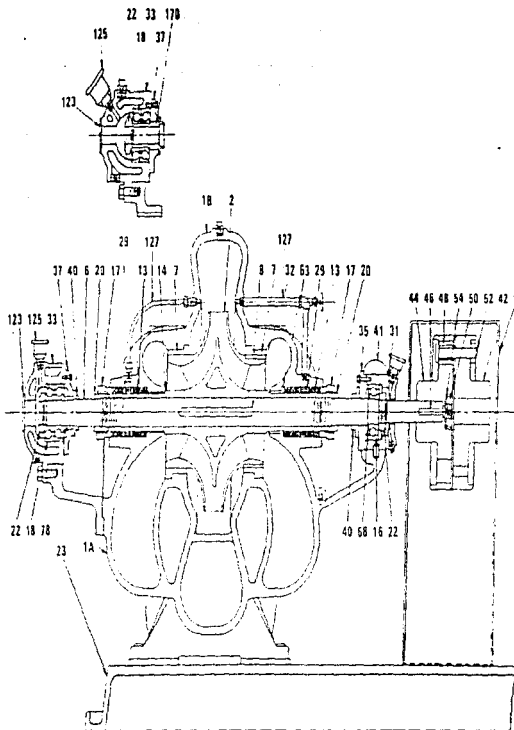
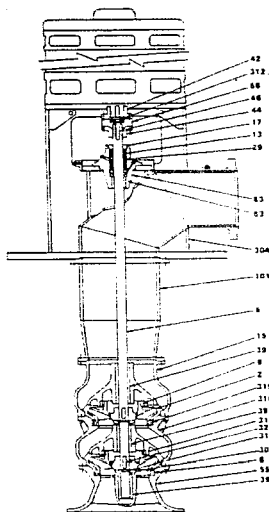


Figura III.5 TÍPICO CALENTADOR ALIMENTADOR DE AGUA DE 2 ZONAS



- 1A - REVESTIMIENTO, MITAD INFERIOR
- 1B - REVESTIMIENTO, MITAD INFERIOR
- 2 - RUEDA MOTRIZ
- 6 - FLECHA DE LA BOMBA
- 7 - ANILLO ENVOLVENTE
- 8 - ANILLO DE RUEDA MOTRIZ
- 13 - ENVOLVENTE
- 14 - CAMISA DE LA FLECHA
- 16 - COJINETE INTERNO
- 17 - GLANDULA
- 18 - COJINETE EXTERNO
- 20 - EMPAQUE DE LA CAMISA DE LA BOMBA
- 22 - SEGURO DEL EMPAQUE
- 23 - PLARO BASE
- 29 - ANILLO DE LINTERNA
- 31 - ENVOLVENTE DEL COJINETE INTERO
- 32 - LLAVE DE LA RUEDA MOTRIZ
- 33 - ENVOLVENTE DEL COJINETE EXTERNO
- 35 - CUBIERTA DEL COJINETE INTERNO
- 37 - CUBIERTA DEL COJINETE EXTERNO
- 40 - DEFLECTOR
- 41 - TAPA DEL COJINETE INTERNO
- 42 - MEDIO COPLÉ DEL CONTROLADOR
- 44 - MEDIO COPLÉ DE LA BOMBA
- 45 - LLAVE DEL COPLÉ
- 46 - BUJE DEL COPLÉ
- 50 - SEGURO DEL EMPAQUE DEL COPLÉ
- 52 - PIN DEL COPLÉ
- 54 - HUMIDECEDOR DEL COPLÉ
- 63 - BUJE DEL PRENSAESTOPAS
- 66 - COLLARIN DE LA FLECHA
- 76 - ESPACIADOR DEL COJINETE
- 123 - CUBIERTA DEL FINAL DEL COJINETE
- 125 - TAPA DE LA CRASERA
- 127 - SELLADO DE LA TUBERIA
- 131 - GUARDA DEL COPLÉ
- 170 - ADAPADOR DEL COJINETE

Figura III.6 BOMBA DE DOBLE
SUCCION



- 2.- IMPULSOR
- 6.- FLECHA DE LA BOMBA
- 8.- ANILLO DE LA FLECHA
- 13.- EMPAQUE
- 15.- TAZON DE DESCARGA
- 17.- GLANDULA
- 29.- ANILLO DE LINTERNIA
- 32.- LLAVE DEL IMPULSOR
- 39.- BUJE DEL COJINETE
- 42.- CONTROLADOR DE MEDIO COPLE
- 44.- MEDIO COPLE DE LA BOMBA
- 45.- COPLE LLAVE
- 55.- CAMPANA DE SUCCION
- 63.-BUJE DEL PRENSAESTOPAS
- 66.- AJUSTE DEL EMPAQUE DE LA FLECHA
- 83.- PRENSAESTOPAS
- 101.- COLUMNA DE LA TUBERIA
- 303.- ANILLO RETENEDOR DEL IMPULSOR
- 304.- CABEZA DE LA SUPERFICIE DE DESCARGA
- 310.- TAZON INTERMEDIO
- 312.- ANILLO IMPULSOR
- 319.- ANILLO DELTAZON

Figura III.7 BOMBA DE TURBINA VERTICAL

CAPITULO IV

AHORRO DE ENERGIA EN UNA TERMOELECTRICA. ALTERNATIVAS COMPUTACIONALES

SISTEMAS DE CONTROL EN UNA PLANTA DE POTENCIA

Introducción

En esta sección hablaremos de los sistemas de control en una planta de potencia y veremos como los sistemas de control integran todos los otros sistemas en el total de una planta que operará eficientemente de forma segura.

Una última observación antes de iniciar nuestra demostración y esta tiene ver con el termino ingeniería de sistemas de control. Ahora esta siendo reconocida como una disciplina separada por un creciente número de firmas de ingeniería como son la ingeniería mecánica o la ingeniería eléctrica.

Escencialmente, los sistemas de ingeniería de control desempeñan la instrumentación y el trabajo del diseño del control que fue previamente distribuido entre el proceso de ingeniería, la ingeniería mecánica y la ingeniería eléctrica.

Sin embargo lo importante a recordar es que el titulo o disciplina de la ingeniería que la cual desempeña cierta instrumentación y funciones de diseño de control no es relevante a esta discusión. Lo que es importante y lo que debemos enfatizar es la apropiada implementación de estas muy importantes funciones de diseño.

SISTEMAS DE CONTROL

El control, monitoreo y protección del proceso mecánico de una planta de potencia y equipo son proporcionados por el control y sistemas de instrumentación. Estos sistemas comúnmente operan automáticamente e incluyen dispositivos localizados en el cuarto de control y en otras áreas de la planta para uso de los operadores de la planta. Estos sistemas incluyen el cuarto de control y los tableros de control locales, por supuesto. En adición también incluyen los muchos sistemas de control electrónico y neumático que operan con los instrumentos e

interruptores en los paneles de control. Estos sistemas reciben información concernientes al proceso mecánico mediante el uso de cientos de instrumentos montados en la tubería y equipo a través de la planta de potencia. Los procesos mecánicos son controlados por medio de válvulas de control en las tuberías, reguladores en los ductos de los ventiladores, y mediante el control de bombas, ventiladores, y válvulas a través de la planta.

Es importante que los ingenieros que diseñen estos sistemas de control se coordinen con todos los otros ingenieros de diseño. Los sistemas de control coordinan las diversas facetas de una planta de potencia de tal manera que permiten una operación segura y efectiva. Por ejemplo, la coordinación con los ingenieros estructurales, arquitectónicos y eléctricos es requerida en el diseño del cuarto de control. Es necesario conseguir información a detalle de como el proceso mecánico y el equipo operan y como ellos deben de ser controlados y protegidos. Los ingenieros eléctricos proveen del cableado necesario para operar los muchos sistemas de control e instrumentación. El control de la partes mecánicas y eléctricas de la planta deben ser coordinadas en el diseño del cuarto de control. Las válvulas e instrumentos localizados en las tuberías requieren cuidadosa coordinación con los ingenieros de diseño de planta. Una buena instrumentación y control son dependientes de una buena comunicación entre todos los ingenieros involucrados en los procesos de la planta.

Los sistemas de control tienen características especiales que deben ser comprendidas. Los sistemas totales están conformados por muchos puntos individuales. En adición, la mayoría de los sistemas de equipos de control, es relativamente muy pequeño. Hay, sin embargo, muchos cientos de estas pequeñas piezas de equipo que, unidos, son tan importantes como la caldera, la turbina, o el generador. Los sistemas de control son como el pegamento que mantiene unidas las piezas para formar una planta de potencia operante. Los ingenieros diseñadores de sistemas de control e instrumentación deben trabajar cuidadosamente con los cientos de pequeñas unidades que componen el trabajo. Cada una puede ser inicialmente poco importantes individualmente, pero algunos pequeños errores y omisiones pueden obstaculizar la operación de la planta o daños importantes a los equipos.

CONTROLANDO EL PROCESO MECANICO

Los diseños de sistemas de control y automatización comienzan con el proceso mecánico. El proceso mecánico básico está mostrado en el diagrama de tubería e instrumentación. Las figuras IV.1a y IV.1b son una porción del diagrama de tubería e instrumentación una planta típica de potencia. El proceso mecánico consiste de los grandes

símbolos de equipo, las válvulas y las líneas de flujo de proceso, conectados entre ellos. A este diagrama parcialmente completado, los instrumentos, las líneas de conexión de instrumentos y los números de identificación de instrumentos deben ser adicionados. El diagrama de tubería e instrumentación es un esfuerzo conjunto de los ingenieros responsables. Una hoja de leyendas es usada con el diagrama de tubería e instrumentación para explicar los símbolos usados.

Instrumentos y controles simples

Algunos instrumentos y controles son simples. Los ejemplos incluyen interruptor de flujo, 5FS-5307, a la izquierda de la bomba principal de la caldera en las figuras IV.1a y IV.1b. El interruptor opera una alarma en el anunciador de la consola de control y además graba la alarma en la computadora de la planta (el símbolo del triángulo) cuando el flujo del agua de enfriamiento en los conductos es muy bajo. Las válvulas del motor operado debajo de esta bomba detienen el flujo del agua de alimentación a través de la bomba cuando la planta está operando en la bomba de arranque de alimentación de la caldera en la parte superior de la figura 1A y 1B. Estas válvulas son controladas por un interruptor manual en la consola de control y no tiene funciones de control automático o condenaciones mecánicas.

Instrumentos y controles complejos

Otros instrumentos y controles son más complejos. Un ejemplo en las figuras IV.1a y IV.1b es el sistema de recirculación de la bomba de alimentación de la caldera principal. La bomba debe ser mantenida fría mediante un pequeño flujo de agua a través de la bomba. La bomba puede ser dañada si el flujo de agua es demasiado bajo. Cuando los requerimientos del agua de alimentación de la caldera están por debajo de los requerimientos mínimos de la bomba, el control de la válvula 5FV-5206 a la derecha de la bomba es abierta para llevar agua adicional de regreso al deaerador. Energía es utilizada para bombear esta agua adicional, pero la bomba es mantenida fría. Esta válvula debe ser controlada para suministrar el flujo apropiado de agua a través de ella. Un orificio de flujo en la línea de succión de la bomba produce una pequeña caída de presión que está relacionada al flujo de agua. Un transmisor indicador de flujo, 5FIT-5206, envía una señal neumática a un controlador de flujo, 5FC-5206, que abre la válvula de control solo la cantidad correcta por una señal neumática. Cuando el fluido de la bomba es suficiente, este lazo de control hace que el cierre de la válvula control opere. Este sistema de control es llamado un lazo de control analógico o de modulación continua. Los controles están

siempre abriendo o cerrando la válvula un poco para mantener el flujo de circulación justo en la cantidad adecuada.

Este sistema de control de recirculación tiene funciones de control de encendido o apagado. Un interruptor de presión neumático, 5FSL-5206, envía una señal de alarma a la computadora si el flujo de la bomba es demasiado bajo. Esto puede ocurrir si el lazo de control analógico no está operando adecuadamente. Además la válvula solenoide neumática, 5FY-5206, cierra la válvula del control completamente cuando la bomba de alimentación de la caldera principal no está trabajando. A este tiempo el lazo de flujo de control analógico vería cero yendo hacia la bomba y abriría la válvula de control de recirculación. Esto desperdiciaría energía ya que la bomba no está andando, entonces el control de encendido y apagado ignora el control analógico para cerrar la válvula de control.

SISTEMAS DE CONTROL ANALOGICO

Los sistemas de control analógico controlan los procesos mecánicos de la planta mediante la constante modulación de válvulas y compuertas para controlar el flujo de presión, nivel o temperatura del proceso. Los grandes y complicados sistemas son usualmente electrónicos, pero los sistemas pequeños localizados en el equipo son usualmente neumáticos. Los sistemas de control electrónicos usualmente hacen uso de controladores de válvula neumática y compuertas debido al bajo costo, alta velocidad, o robustez de los controladores neumáticos.

La figura IV.2 es un diagrama de partes de un sistema de control analógico. Equipo similar es utilizado para el sistema de control de la caldera para controlar el agua de alimentación. Los transmisores envían señales de medida del proceso a la consola de sistemas electrónicos. Los transmisores de temperatura, presión y flujo, son mostrados. Los módulos enchufables de estado sólido en esta consola, condicionan las señales y las envían a los indicadores, grabadores y estaciones de control manual montadas en el panel de control en el cuarto de control. En adición este proceso de señales son comparados electrónicamente con el flujo de planta requerido, presión, nivel, o temperatura ajustados por el operador en las estaciones de control manual. Los módulos lógicos electrónicos entonces envían señales a las válvulas y controladores de compuertas para cambiar el proceso del flujo como es requerido para mantener el proceso de la planta operando apropiadamente. La válvula de control mostrada en la figura IV.2 es una válvula neumática. Por esa razón un convertidor eléctrico a neumático es mostrado entre la válvula y la consola de sistemas de control.

Algunos sistemas electrónicos complejos tal como el sistema de control de la caldera son suministrados por fabricantes quienes se especializan en el control de las plantas de potencia y calderas. Las especificaciones son preparadas por el ingeniero para definir las funciones requeridas por el proceso mecánico. La figura IV.3 es un ejemplo del tipo funcional de plano que es frecuentemente incluido en tal especificación. El fabricante entonces provee el sistema de control que es necesario para cumplir tales requerimientos.

Otro importante sistema de control en una planta de potencia, el sistema de control del gobernador de la turbina, es suministrado por el fabricante de la turbina.

SISTEMAS DE CONTROL DE ENCENDIDO Y APAGADO

Los sistemas de control de encendido y apagado controlan el proceso mecánico de la planta mediante la apertura y cierre de válvulas y compuertas, arrancando y deteniendo transportadores, seccionando equipo para prevenir daño, y encender alarmas cuando situaciones anormales ocurren en la planta. Los sistemas grandes son comúnmente electrónicos, pero sistemas con lógica de relé son muy comunes donde los requerimientos lógicos son simples o donde elevadas cargas eléctricas están involucradas.

Control de quemador

La figura IV.4 es una vista formada de un sistema de control electrónico de quemador. El operador selecciona quemadores a ser puestos en servicio o removidos de servicio mediante interruptores en el panel de control del cuarto de control. Las señales van a la cabina de lógica de estado sólido donde circuitos lógicos envían comandos a las válvulas de combustible de quemador y registros de aire. El sistema lógico y el operador de planta conocen la condición de los quemadores mediante señales de los interruptores de presión de los quemadores frontales, interruptores de límite y analizadores de flama.

Esta lógica es diseñada para verificar cada acción automática antes de proceder con la siguiente acción para asegurar una operación segura. El sistema de control de quemador también suspende el combustible de la caldera cuando ocurren condiciones inseguras, cerrando los seguros de las válvulas principales de combustible.

Otro sistema de encendido-apagado usado en plantas de potencia es el sistema anunciador. La figura IV.5 muestra un sistema típico. Este es usualmente un sistema de lógica de estado sólido que recibe señales de campo. Estas luces del sistema parpadean junto a

leyendas escritas en un panel indicador y suena una alarma audible en el cuarto de control para advertir al operador de la planta que un problema particular de la planta ha ocurrido. Los botones de restablecimiento suspenden la alarma audible y el parpadeo de las lámparas. El operador entonces puede tomar las acciones necesarias para corregir el problema. Usualmente hay diversos pequeños anunciadores sobre los paneles locales en la planta. La figura IV 5 ilustra como las alarmas de estos paneles locales pueden ser conectadas dentro del anunciador principal de la planta para advertir al operador de la planta de problemas en esa área local. El anunciador local es útil para el posible operador ubicado en el área.

EL PROBLEMA DE LA CARGA VARIABLE

Comparación de la producción industrial y la generación de potencia. La mayor parte de las incertidumbres y las complejidades en la operación de una central de fuerza, provienen de la variabilidad inherente de la carga exigida por los usuarios, que por separados o en grupos grandes o pequeños presentan según las necesidades creadas de sus actividades. La planta de fuerza debe considerarse como una fábrica para la elaboración de energía útil, partiendo de combustibles o energía hidráulica como materias primas. Los jefes modernos han llegado a la conclusión de que su planta de fuerza es una parte importante de sus procesos de manufactura y consideran su planta de fuerza, no como un mal necesario, sino como otro departamento de producción. Pero existe una diferencia esencial e importante entre entre los demás departamentos de producción y la planta de fuerza. Y consiste en que su producto terminado no está completo hasta el mismo instante en el que se utiliza, y debe ser entonces igual a la demanda instantánea. No existe ninguna manera sencilla de almacenar una cantidad adicional de kilowatts-hora para usuarios en un periodo futuro de demanda extraordinaria, aunque este periodo tiene dos maneras de ocurrir, por que verdaderamente es muy raro que la demanda de potencia sea uniforme. Aunque algunas industrias que usan las descomposición electroquímica o la galvanoplastia, se caracterizan por necesitar cargas más o menos constantes, pero éstas son la excepción a la regla general de demanda variable. En consecuencia, las ideas aceptadas para la fabricación de otros artículos deben modificarse considerablemente para el caso de la producción de kilowatts-hora.

Curvas ideales y curvas reales

La carga ideal, desde el punto de vista del equipo necesario y la rutina de la operación, sería una que fuera de magnitud constante y de larga duración. Se puede ver una carga ideal de

esta forma en la figura IV.6a . El costo para producir un área elemental de esta curva de carga (por ejemplo un Kilowatt-hora) puede ser de $1/2$ o $3/4$ del que se necesita para producir la misma unidad que en las condiciones ilustradas en la figura IV.6b. De donde se puede apreciar que el problema de la carga variable es uno de los vitales, porque, desde el punto de vista industrial, el costo de los artículos manufacturados incluye un cargo por energía como elemento muy importante, mientras que desde el punto de vista de la utilidad, el factor más importante es colocar cada kilowatt hora en la línea de transmisión con el costo de producción más bajo que sea posible. La razón de esta diferencia de cada unidad producida debiera encontrarse no solo en las mejores condiciones de operación, como las tendrían turbinas y generadores operando con su mejor eficiencia, o la operación uniforme de las calderas, sino que también podría ser el resultado de menor primer costo del equipo, que se consigue con el control más sencillo y de regulación

Como muy bien lo saben los operadores de plantas de fuerza, las curvas reales tienen una forma muy diferente de la ideales. También sabe que la forma de curva que tiene, representa para él una guía de tremenda importancia o índice de sus diversas actividades relacionadas con la generación y distribución de energía eléctrica a los usuarios. ¿Cuál es la circunstancia fundamental que hace que la carga sea variable en lugar de constante?

La conclusión general es que los procesos industriales y los usos domésticos producen demandas muy variables sobre la capacidad de la planta. Las excepciones no justifican modificar el criterio de que esta es una condición básica de operación para la mayor parte de los equipos. Aunque las características de la demanda no puedan conocerse hasta que sus condiciones de uso se investiguen por completo. Entonces, la figura IV.7 pudiera representar las demandas domésticas de dos residencias adyacentes. Aparentemente, no hay mucha semejanza entre sí, ni tampoco podía esperarse una semejanza, al menos de que se conociera la vida de la familia de los ocupantes de cada una de ellas. Además, la residencia siguiente podría tener una forma de curva de carga diferente, y así sucesivamente las demás residencias. Esto se debe al hecho natural de que las personas son diferentes. Sin embargo, al ir aumentando el número de usuarios, el efecto de las individualidades en la resultante general que dan las condiciones de la comunidad, y la curva de carga resultante no sería diferente del promedio de cualquier otra comunidad con condiciones de vida semejantes. Esta circunstancia se ilustra en la figura IV.8.

La semejanza será aparente solamente donde el número de usuarios conectados sea lo suficientemente grande para suavizar el factor individual, y también se requiere que ninguna carga individual sea suficientemente grande para que sea de consideración en comparación con la suma de los demás usuarios. En consecuencia, cuando los generadores sirven a una

industria, o a unas cuantas industrias grandes, se tendrá una demanda que se podría prever solamente después de inspeccionar cuidadosamente los procesos industriales, que deberá incluir no solamente la demanda, sino también una diversidad de factores. La demanda de los generadores que sirven a una comunidad de residencias, o un distrito comercial, etc., puede predecirse con algún grado de aproximación examinando las curvas de carga para un servicio parecido.

Las condiciones de servicio extraordinarias se reflejan claramente en las curvas de carga correspondientes. Las tempestades súbitas que ennegrecen el cielo cerca de la hora de mayor demanda, producen una sobrecarga adicional en ella, produciendo, en algunas áreas metropolitanas, un máximo extraordinario. Las multitudes de los días de fiesta pueden aumentar el consumo del equipo movido eléctricamente, y reflejar su presencia como una carga muy fuerte en los trenes eléctricos. Las economías que se originan por la luz del día producen una desviación de una hora en el tiempo a que deben producirse los máximos consumos. En muchos casos, las economías logradas por la luz del día disminuyen la magnitud de los máximos, creando una diferencia entre las demandas máximas para alumbrado.

Efecto de la carga variable en el proyecto de las plantas de fuerza.

La necesidad de enfrentarse con la carga variable influye en gran manera en las características y métodos de usar el equipo de la planta de fuerza. Por vía de ilustración consideraremos una estación central de vapor. Los elementos esenciales afectados por los ajustes que se deba dar a la potencia, se dan en un diagrama en la fig 1V 9.

Las materias primas para producir fuerza de vapor son, aire, combustible y agua. Para producir una potencia variable se sigue que deberán también variarse las cantidades que se suministren en la forma correspondiente. El orden de las operaciones de control podrá seguirse tomando el diagrama de la fig- 2 8. Supongamos que precisamente se acaba de aumentar la potencia obtenida por un motor de un cliente. Indudablemente, al aumento del par motor en la polea deberá seguir un aumento en el suministro de combustible, aire y agua al generador de vapor. Sin embargo, la respuesta no es instantánea; producen retrasos el almacenamiento térmico en el vapor y el agua contenida en la caldera, en las capas de carbon y paredes calientes del hogar. Aunque la respuesta de ajuste es rápida de la carga a la turbina, las respuestas del generador de vapor son mucho más lentas.

Lo primero que sucede después de que se ha aumentado el par motor en la polea es la disminución de la velocidad del mismo motor. En esta disminución de velocidad, es en la forma

que se aumenta la carga en los motores de inducción ordinarios. El efecto consiste en aumentar la frecuencia del circuito del rotor dejando pasar más corriente. Al mismo tiempo toma más corriente de las líneas de abastecimiento el devanado del estator. De aquí que, un pequeño retardo del rotor del motor, al aumentar la carga, es el medio de transmitir el mismo aumento a las fuentes de abastecimiento, y eso a través de la línea de transmisión, subestación, barras de distribución de la estación, conexiones del generador, hasta el generador mismo.

POSIBILIDADES ALTERNAS DE COMBUSTIBLES

Hay posibilidades concretas de la aplicación de la tecnología solar para destilación del agua, el calentamiento de agua, el sacado de la cocina, el refrigerador, la climatización y la conversión de radiación solar en energía mecánica y eléctrica, así como la obtención de energía a partir de desperdicios orgánicos (biomasa)

El análisis económico de la tecnología solar y de equipo pertinente, exige un planteamiento y enfoque diferentes. Es cierto que el costo del equipo solar es superior al de productos tradicionales similares pero en cambio su costo de funcionamiento es mucho más bajo.

Los principales problemas con que se tropieza en el desarrollo de la tecnología solar y el diseño de fabricación de los dispositivos son

- a) Se trata de una tecnología nueva y los conocimientos están en etapa de experimentación.
- b) El equipo de los dispositivos solares no son todavía fáciles de obtener comercialmente en gran escala.
- c) El costo inicial del equipo es alto, debido probablemente a que las técnicas son en su mayoría de carácter experimental y no es posible obtener economías.

CONVERSION DE LA ENERGIA SOLAR A MECANICA

Con la expresión máquina solar se designa una máquina que funciona mediante energía solar.

El ciclo térmico de semejante máquina puede ser el siguiente: la radiación solar calienta un fluido motor en fase líquida y produce un vapor. Este se expande en una máquina alternativa

o giratoria, realizando un trabajo de la máquina pasa a un intercambiador de calor donde se condensa.

El líquido condensado se vuelve a inyectar mediante una bomba (que generalmente es accionada por su propia máquina solar) a otro intercambio de calor en el cual se evapora, cerrándose el ciclo.

La eficiencia de la máquina depende ante todo de su modelo de Carnot:

$$N_c = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

T_1

siendo T_1 la temperatura del foco caliente (el intercambiador del calor del evaporador) y T_2 la temperatura termodinámica del foco frío (el intercambiador del calor de condensación).

De la ecuación precedente puede deducirse que, en teoría, se debe utilizar la temperatura más alta posible para el foco caliente y la más baja posible para el frío, sin embargo en la práctica, depende del funcionamiento de los colectores solares y de la presión que puedan soportar los materiales con que se haya construido la máquina, por ejemplo la presión de gas refrigerante es de 20 bares a 50°C solamente y por otra parte, T_2 no puede ser inferior a la temperatura del fluido utilizado para la refrigeración de agua o aire que circuyen por convección natural o forzada.

La energía que irradia la superficie externa del sol (fotosfera), camina en esferas de diámetro cada vez más grande. La intensidad de radiación sobre una unidad de área como puede ser un pie cuadrado, varía inversamente al cuadrado de la distancia del sol. La intensidad de radiación solar al borde de la atmósfera terrestre, a la distancia promedio entre el sol y la Tierra medida sobre una superficie particular a los rayos solares se llama CONSTANTE SOLAR.

La distancia promedio entre el sol y la Tierra es aproximadamente 150.000.000 Km. se llama una unidad astronómica AU, a esta distancia la constante solar I_{sc} vale 429.2 BTU por hora por pie cuadrado.

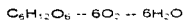
LA ENERGIA DE LA BIOMASA

El diseño de la biomasa como fuente de energía, presenta rasgos diferentes al empleado en otras fuentes, una ventaja respecto a la energía solar directa es la facilidad de

almacenar la biomasa. Además muchos de los derivados de la biomasa pueden emplearse en los equipos que utilizan combustibles fósiles sin necesidad de modificaciones importantes y sin ocasionar grandes niveles de contaminación.

Además de los procesos de combustión directa y de alimentación de animales de tracción, existen otras formas de tratamiento de la biomasa, previas a su utilización como energéticos, previas a su utilización como energético, que la transforman en compuestos ricos en energía, esto es, en moléculas ricas en carbono y/o hidrógeno y pobres en oxígeno y nitrógeno, empleados más adelante como combustibles así, mediante una variedad de procesos; pirólisis, hidrogenación, hidrogasificación, destilación, fermentación anaeróbica y fermentación aeróbica, pueden obtenerse diferentes hidrocarburos a partir de leña, caña de azúcar, maíz, como la celulosa es el material más abundante de la biomasa combustible, se puede tomar 4.5 Mcal/Kg. como valor representativo de la energía en este recurso energético.

Una forma antigua y tradicional de obtener energéticos es quemar material vegetal o residuos orgánicos de animales, es decir biomasa obtenida por la fotosíntesis a través de la agricultura, la silvicultura o la ganadería, siguiendo la ecuación empírica de combustión de los carbohidratos.



En esta reacción de combustión de carbohidratos generalmente liberan 4.5×10^6 cal/Kg de materia seca.

La energía solar que incide en la Tierra queda atrapada o almacenada en las plantas por medio de la fotosíntesis. Esta energía es convertida en energía química al transformar sustancias inorgánicas, agua y bióxido de carbono en carbohidratos orgánicos; es almacenada después en tejidos vegetales.

A partir de la segunda mitad del siglo pasado, la biomasa, particularmente la leña y el carbón vegetal, fueron la mayor fuente energética antes de utilizar el carbón mineral de combustibles vegetales.

No obstante, en el análisis de los impactos ambientales de los distintos usos de la biomasa como energético, se deben considerar todas sus fases de producción y no solo su utilización final, así se conocerán problemas tales como la deforestación y agotamiento de los suelos, etc.

Parte de la complejidad del uso de la biomasa como energético surge del contexto productivo en que se obtiene, ya que la biomasa útil al hombre es tanto una fuente de energía como de alimentos, de alta digestibilidad (granos de cereales, azúcar, féculas, tubérculos) o fuentes energéticas de forrajes fibrosos para la ganadería de carne o leche (pastos, rastrojas, pajas, etc.). Sustituto parcial o total de los fertilizantes químicos.

La disparidad en la disponibilidad porcentual de combustibles fósiles es evidente, pues el campesino de un país subdesarrollado solo requiere 33% de energéticos fósiles y el habitante industrializado utiliza el 98% de esta forma.

Digestores de desechos orgánicos

La utilización de gas de los pantanos, metano o biogas como combustible no constituye una novedad tecnológica, pues ya a principio del presente siglo se iluminaban ciudades con el biogas proveniente de plantas de tratamiento de drenajes municipales. Exeter, Inglaterra (1896) Birminahan, Inglaterra (1927), Berlín, Alemania (1929), Baltimore, USA (1936).

A diferencia de los países desarrollados, la producción de biogas ha sido cada vez más creciente en los países en desarrollo, siendo India y China los que están a la vanguardia en las aplicaciones a escala familiar y comunal, para el medio rural.

El digestor, como su nombre lo sugiere, es un depósito construido a modo de estómago o intestino, con el objeto de provocar la "digestión" (fermentación y desintegración) de la excreta y demás elementos orgánicos que en él se depositen.

La descomposición de la materia orgánica se puede efectuar de dos maneras o dos procesos biológicos; la descomposición anaeróbica (sin oxígeno) y aeróbica (con oxígeno) cualquier tipo de materia orgánica se puede descomponer en cualquier sentido; pero el producto final es diferente.

Quizás lo más importante que se debe recordar es que la digestión es un proceso biológico. Las bacterias responsables de la digestión no pueden sobrevivir ni siquiera con la menor traza de oxígeno en la mezcla del estiércol con que se alimenta al digestor, por eso después de la carga, pasa un tiempo antes de que se produzca la digestión.

Durante este período aeróbico inicial, las trazas de oxígeno liberan así grandes cantidades de bióxido de carbono (CO₂). Cuando desaparezca el oxígeno se puede iniciar el proceso de la digestión.

De una manera sencilla es posible imitar la descomposición anaeróbica natural, colocando desechos orgánicos (estiércol y materias vegetales) en recipientes aislados y herméticos al aire, que se conocen con el nombre de digestores. Estos digestores pueden ser de dos tipos: digestores cargados por lote (batch), que se llenan una vez, se sellan y se vacían cuando la materia prima ha dejado de producir gas y los digestores de carga continua, que se cargan regularmente, con pequeñas cantidades de modo que se producen continuamente gas y fertilizantes.

El digestor se alimenta con una mezcla de agua y desechos orgánicos diariamente.

La producción de biogas es un proceso biológico que se lleva a cabo por una degradación anaeróbica en ausencia de oxígeno, es un proceso que se efectúa en tres etapas (ver figura IV.10) y cada una de ellas actúan grupos de bacterias. La primera etapa consiste en la conversión de gases, proteínas y carbohidratos a compuestos simples, como el ácido acético, etc. las bacterias formadas de ácidos que actúan en estas fases son fáciles de reproducir y no son muy sensibles a cambios bruscos de las condiciones de digestión. La tercera etapa del proceso, se refiere a la transformación de los ácidos simples a metano y bióxido de carbono, actuando en esta fase las bacterias metanogénicas, mismas que son difíciles de producir y muy sensibles a cambios en el medio ambiente y a la presencia de oxígeno en el medio.

Características de utilización del biogas

Se denomina biogas, a la mezcla gaseosa que se produce de la fermentación anaeróbica de desechos orgánicos y contiene, metano, bióxido de carbono y otros elementos como se muestra en la tabla IV.1.

El metano es el principal constituyente y que en condiciones óptimas puede producir biogas con 70% de CH_4 .

El metano es el componente energético útil y del contenido de éste, depende el valor del combustible del biogas (poder calorífico/m³ aproximadamente). En la tabla IV.2, se muestran las propiedades físicas y químicas más importantes del metano.

Como ya dijimos, es prácticamente el gas natural, o sea como el que ya se usa como combustible en la industria y algunas unidades habitacionales, es decir, un combustible comercial, más limpio que el petróleo, gasolina, carbón o diesel.

Puede por tanto, ser usado como combustible directo para cocinar, calentar agua, calderas, turbinas de gas; o puede alimentar un motor de combustión interna con ligeras modificaciones.

El sulfuro de hidrógeno es un componente indeseable por que es tóxico y en presencia de vapor de agua y oxidantes forman ácido sulfúrico que puede corroer las tuberías, éste, puede separarse haciéndose pasar el biogas por limadura de hierro.

Tabla IV 1 COMPOSICION DEL BIOGAS

Composición de biogas	% en Volumen
Metano (CH ₄)	55-62
Bioxido de Carbono (CO ₂)	35-45
Nitrógeno (N ₂)	0.3
Hidrógeno (H ₂)	0.1
Sulfuro de hidrogeno	0.1

Tabla IV.2 PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL METANO

Fórmula química	CH₄
Fase molecular	16.042
Punto de ebullición (a 1 atm)	-161.49°C
Punto de solidificación (a 1 atm)	-192.49°C
Presión crítica	47.363 Kg/cm ²
Temperatura crítica	-82.5°C
Gravedad específica	
Líquido (a -164°C)	0.415
Gas (a 25°C y a 1 atm)	0.000658
Volúmen específico	
(a 15.5°C y a 1 atm)	1.47 lt/gm
Poder calorífico	
(a 15.5°C y a 1 atm)	9.120 Kcal/m ³
Aire requiendo para combustión	
en m ³	9.53

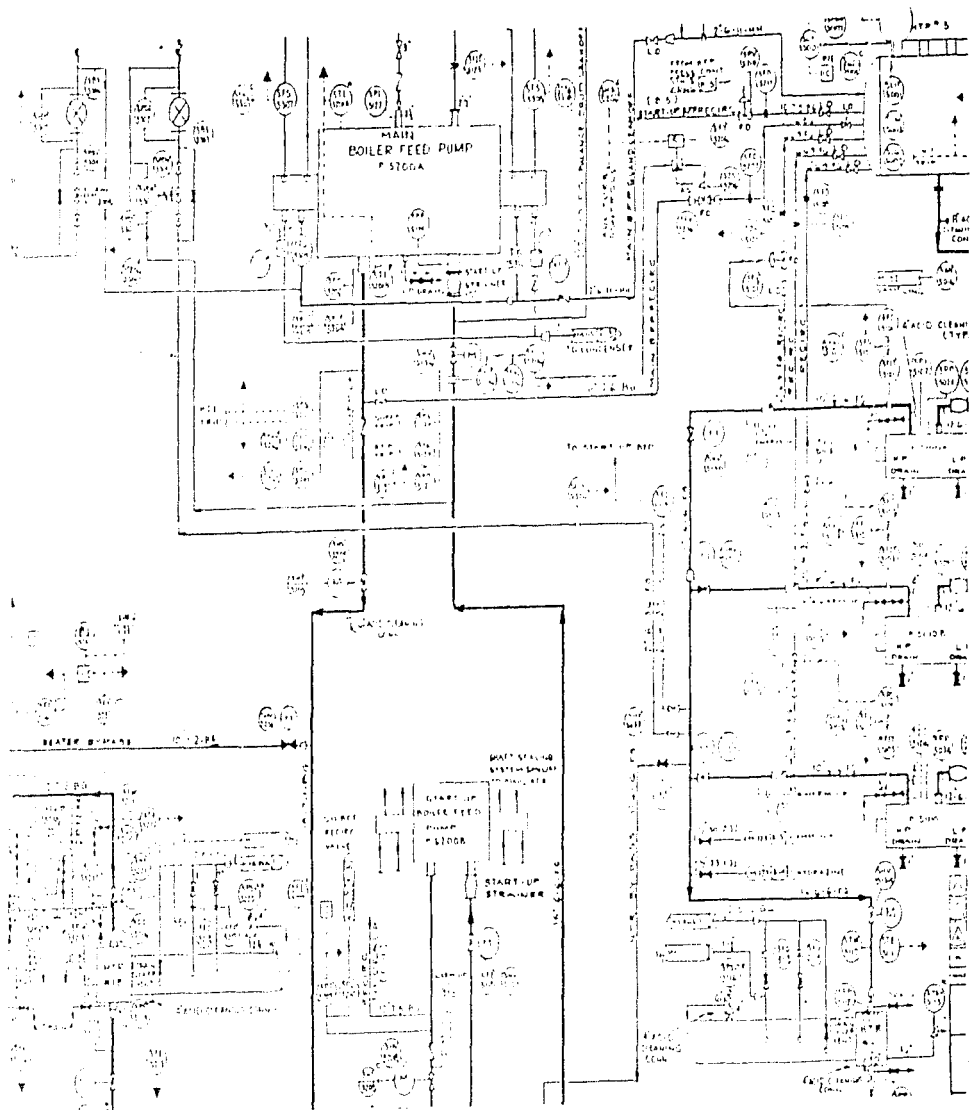


Figura IV.1 PORCION DE UN DIAGRAMA TIPICO DE TUBERIA E INSTRUMENTACION

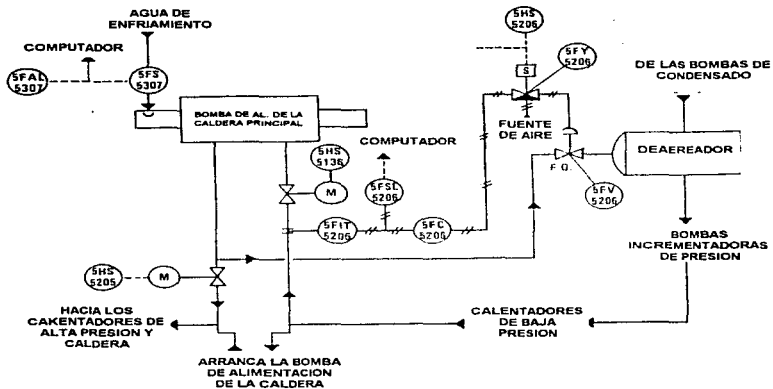


Figura IV.1b PORCION AISLADA DE UN DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION

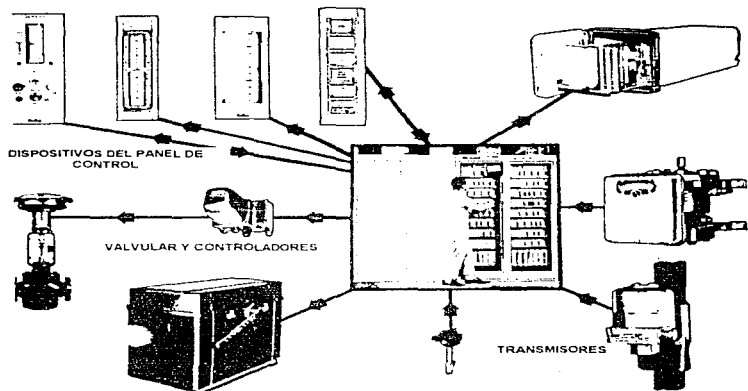


Figura IV.2 SISTEMAS DE CONTROL ANALOGICO ELECTRONICO

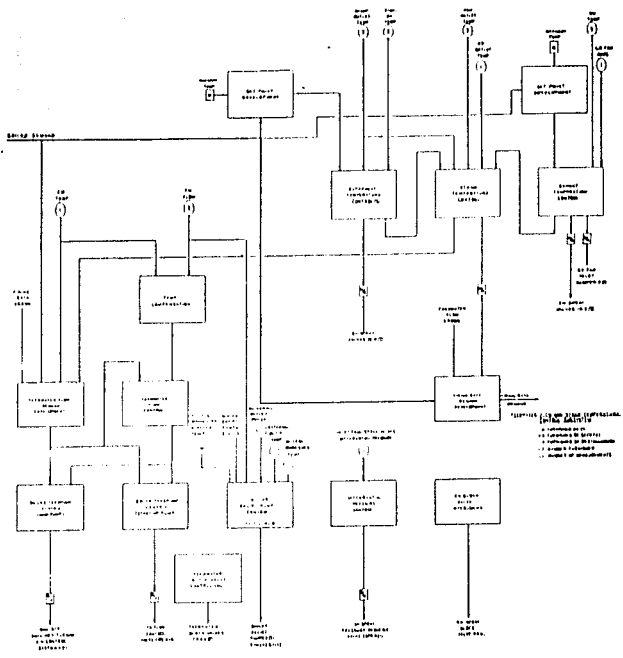


Figura IV.3 SISTEMAS DE CONTROL INTEGRADO

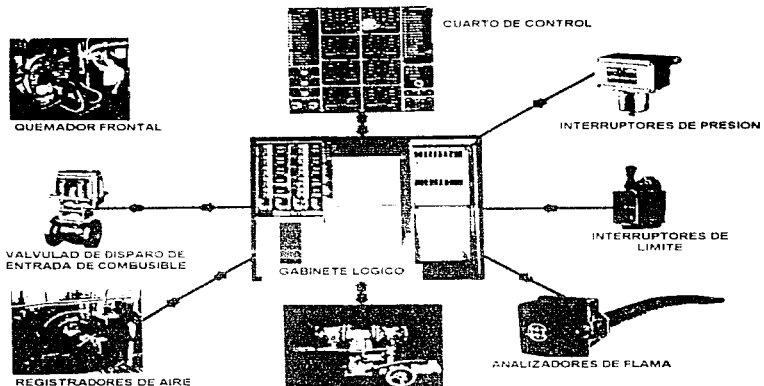


Figura IV.4 COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL DE QUEMADOR DE ESTADO SOLIDO

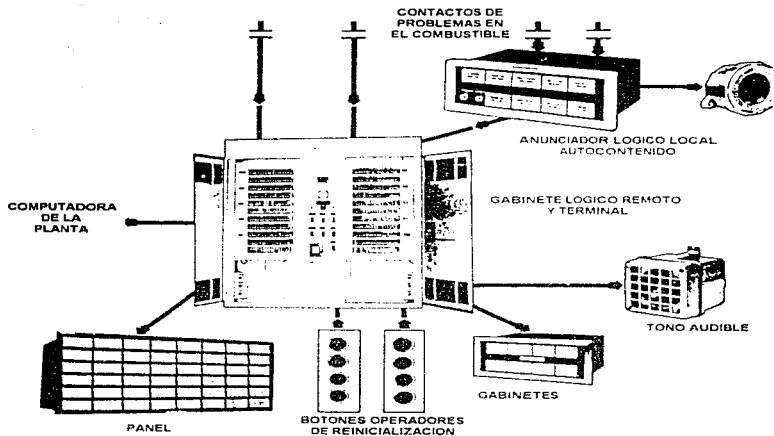
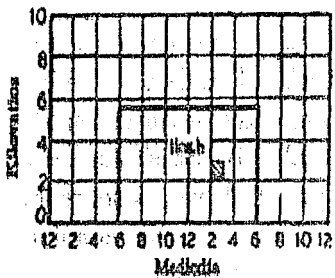
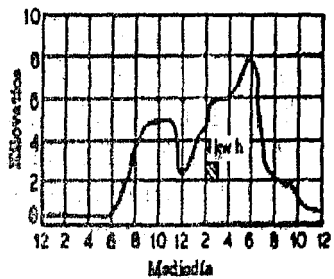


Figura IV.5 SISTEMA ANUNCIADOR DE ESTADO SÓLIDO



(a) Carga Ideal



(b) Carga efectiva

Figura IV.6a Y IV.6.b COMPARACION DE CURVAS IDEALES Y REALES

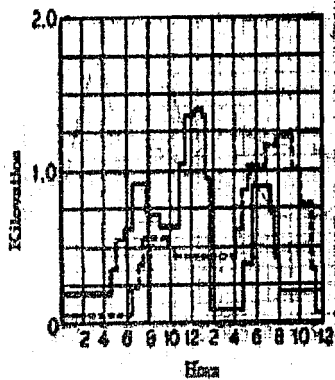


Figura IV.7 CURVAS DE CARGA DE USUARIOS INDIVIDUALES

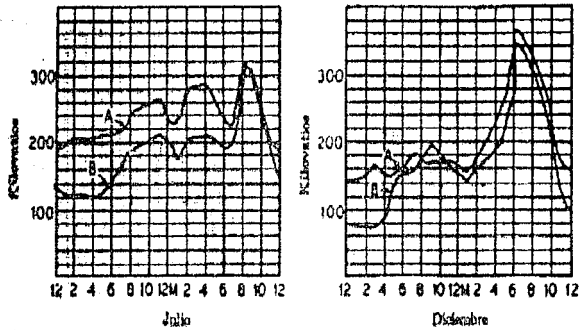


Figura IV.8 COMPARACION DE CURVAS DE CARGA ACTUALES PROMEDIO DE DOS CIUDADES A Y B

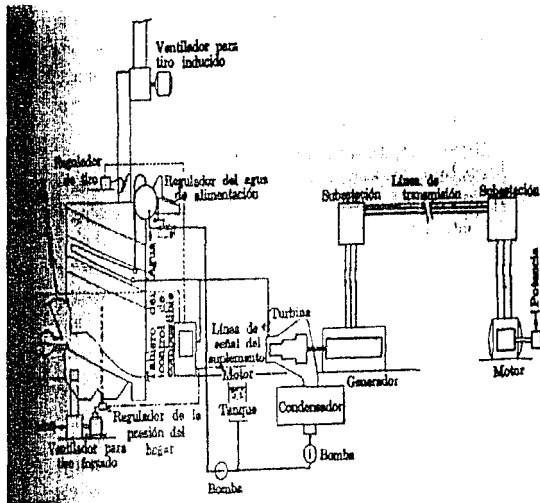


Figura IV 9 DIAGRAMA DE LOS ELEMENTOS QUE SE ENCUENTRAN EN JUEGO AL VARIAR LA CARGA

CAPITULO V

EJEMPLO

INCREMENTO DE LA CAPACIDAD TERMICA DE LOS CALENTADORES DE AIRE A VAPOR DE CENTRALES TERMOELECTRICAS UTILIZANDO VAPOR SATURADO

En los capítulos anteriores hemos mencionado cuales son los elementos que conforman una planta termoelectrica, así como los diversos ciclos con que éstas funcionan, por otra parte se han planteado alternativas en cuanto a posibles combustibles que pudieran sustituir en algún momento a los combustibles derivados del petróleo; en el presente capítulo se presentará un ejemplo de cómo se puede ahorrar energía en una planta termoelectrica de ciclo regenerativo.

Problemática de los precalentadores de aire regenerativos y los calentadores de aire a vapor.

En general la problemática de los equipos se puede resumir en lo siguiente:

La mala calidad del combustible y las altas temperaturas de rocío ácido provocan suciedad y depósitos ácidos en la superficie de intercambio de calor de los precalentadores regenerativos (PAR's). Si a éstos dos conceptos se les añade la deficiencia de los sistemas de limpieza, se ocasionan problemas tales como: taponamiento de canastas, corrosión y deterioro tanto de canastas como de los sistemas de sellos.

Los efectos que ocasionan estos problemas son: fugas de aire hacia los gases, bajas eficiencias térmicas, altas caídas de presión y sobre todo altos índices de indisponibilidad y costos de mantenimiento de los generadores de vapor.

Por otro lado, la función principal de los calentadores de aire a vapor (CAV's) es precalentar el aire, para que en el lado frío de los PAR's se sobrepase la temperatura del punto de rocío ácido y se evite así los depósitos de partículas. Sin embargo, se ha encontrado que actualmente debido a que en general, las dimensiones de los CAV's son inferiores a las requeridas.

Alternativas de solución

La problemática detectada en los PAR's comprende básicamente dos conceptos: depósitos ácidos y suciedad; por lo que las alternativas de solución que se contemplan son también de dos tipos, las cuales se describen a continuación.

1.- Optimizar los sistemas de limpieza.

Dadas las características de los depósitos de que se acumulan en las canastas de los PAR's, los sistemas tanto de sopiado como de lavado resultan deficientes para remover dichos depósitos.

La fuerte adherencia de estos depósitos se debe en gran medida al ácido que contienen y a los depósitos ácidos que ocurren cuando la humedad y la temperatura de los gases son propicias.

Por lo tanto antes de efectuar cualquier modificación a los sistemas de limpieza, es recomendable probar si disminuyendo los depósitos ácidos, los depósitos que se formen son posibles de remover con los dispositivos de limpieza existentes.

2.- Disminuir los depósitos ácidos

La corrosión y deterioro de los elementos metálicos (canastas y sistemas de sellos) son ocasionados por la depositación de ácido sulfúrico contenido en los gases de combustión. La formación de éste último, depende de factores tales como el contenido de azufre en el combustible, del nivel de suciedad en los bancos de tubos del generador de vapor, del exceso de aire con que se operen éstos, etc.

Los dos últimos factores son factibles de controlarse estableciendo medios y rutinas apropiadas de limpieza de caldera, y trabajando los generadores de vapor con el mínimo posible de exceso de aire.

En cuanto al contenido de azufre del combustóleo éste resulta prácticamente inamovible dados los altos niveles de inversión requeridos para disminuirle el contenido de azufre.

En virtud de lo anterior, es necesario analizar y evaluar otras alternativas de solución que permitan abatir y controlar el punto de rocío ácido como requisito indispensable para minimizar los depósitos ácidos.

Una de las mejores alternativas de solución a éste problema, consiste esencialmente en mantener la zona fría de los PAR's a una temperatura mayor que el punto de rocío ácido; para lograr esto, se pueden considerar las siguientes soluciones:

Modificar los calentadores de aire a vapor (CAV's)

Disminuir en número de canastas en el lado frío de los precalentadores regenerativos.

Recircular aire caliente

Derivación (By pass) de aire frío.

Las modificaciones que es posible efectuar en los CAV's comprenden:

Incrementar la superficie de calentamiento y utilizar vapor sobrecalentado como servicio

Utilizar vapor saturado como servicio, manteniendo la misma superficie actual.

Una mezcla de ambos.

La solución más viable es la que se refiere a la utilización de vapor saturado como servicio, manteniendo la misma superficie de intercambio del CAV. Esta solución requiere de pocas modificaciones a los equipos acualmente en operación y por lo tanto de poca inversión monetaria. En la tabla V.1 se muestran las temperaturas requeridas en los PAR's, para la unidades de 300 Mw de CFE.

Fundamentos de la hipótesis

Esta hipótesis contempla la posibilidad de incrementar la capacidad de transferencia de calor de los CAV's, utilizando vapor saturado, es decir modificando la operación del CAV para que trabaje solamente con la etapa de condensación de vapor.

La hipótesis surge del análisis comparativo de los coeficientes totales de transferencia de calor y superficie de calentamiento, obtenidos para las zonas de sobrecalentamiento y condensación de vapor.

En los análisis de los valores de los coeficientes totales de transferencia de calor de diversos equipos, se ha observado que la etapa de sobrecalentamiento (UC10), es aproximadamente 4 veces más pequeño que el de la etapa de condensación (UC20). Eso significa que en la etapa de condensación se tiene mayor capacidad de transferencia de calor por unidad de superficie que en la etapa de sobrecalentamiento. Desde el punto de vista de los coeficientes peliculares, esto se debe a que el coeficiente de película controlante en la etapa de condensación (coeficiente pelicular más pequeño), es el del aire ($h_{a,c}$), el cual determina el valor de UC20 de la ecuación:

$$1/UC20 = 1/h_{a,c} + 1/(h_v(A'_v/A'_{v,c})) = 1/91.2 + 1/1355.18$$

mientras en la etapa de sobrecalentamiento, el coeficiente de película controlante es el coeficiente pelicular del vapor sobrecalentado (h_v), el cual determina el valor de UC10 de la ecuación:

$$1/UC10 = 1/h_v + 1/(h_a(A'_a/A'_{a,c})) = 1/91.2 + 1/25.89$$

Lo cual significa que el coeficiente pelicular del vapor sobrecalentado referido a la superficie externa $h_v(A'_v/A'_{v,c})$ produce una resistencia a la transferencia de calor más grande que la correspondiente al coeficiente h_a , reflejándose ésto en un coeficiente total de transferencia de calor UC10 más pequeño que el obtenido en la etapa de condensación (UC20).

En cuanto a la superficie de calentamiento requerida, se observa que aproximadamente la tercera parte de la superficie total de transferencia de calor del CAV se utiliza para desobrecalentar el vapor.

Basándose en lo expuesto anteriormente, la hipótesis de optimización térmica de los CAV's con vapor saturado, propone eliminar el desobrecalentamiento del vapor y utilizar únicamente la etapa de condensación del mismo, de modo tal que toda la superficie del CAV intercambie calor con el coeficiente total más grande que tiene, que es el de condensación (UC20), lográndose con esto incrementar la capacidad de transferencia de calor de la superficie total del CAV.

El flujo de calor cedido por el vapor depende de la diferencia de entalpías y del flujo de vapor y se expresa como:

$$Q_s = W_s(H_1 - H_2)$$

Considerando lo anterior, al utilizar vapor saturado, la diferencia de entalpías ($H_1 - H_2$) será menor que la del vapor sobrecalentado ($H_1 - H_2$); por lo que será necesario aumentar el flujo

de vapor, de modo tal que pueda incrementarse así el flujo de calor total intercambiado; es decir, la operación del CAV con vapor saturado requerirá un flujo de vapor mayor al que se utiliza con vapor sobrecalentado.

CONCLUSIONES

A lo largo de tratado anterior se percibe que gran parte de la economía y la optimización que podemos implementar en las centrales termoelectricas, radica en los equipos, procesos electromecánicos y en los combustibles utilizados.

El ejemplo nos muestra como el optimizar algunas de las etapas en la generación de energía eléctrica en centrales termoelectricas puede redundar en considerables economías en la transformación de energía, influyendo esto de forma decisiva en los costos de producción. Sobre todo si consideramos que gran parte de la energía eléctrica generada en el país parte de centrales termoelectricas.

El balance térmico de la caldera es el punto medular en el consumo de combustible, ya que un aumento de la carga influye directamente en este balance, lo que nos lleva a la situación de un efecto directo de los sistemas mecánicos de la planta; por lo que un ingeniero de operación de una planta termoelectrica debe tener una formación que implique las disciplinas térmica, mecánica y eléctrica

Un factor importante también en la generación de energía que aplica a centrales termoelectricas o cualquier otra central generadora, es la relación directa que hay entre el consumo de los utilizadores finales de la energía y la generación consecuente a este hecho; la decisión que se ha tomado en nuestro país de aplicar el horario de verano sin duda presentará notables mejoras en el desempeño de nuestra plantas . Por otro lado se debe considerar el aplicar tarifas horarias a los consumidores finales de la energía, buscando el lograr una curva de consumo lo mas cercano a la ideal; logrando así optimizar los periodos de generación de nuestras centrales termoelectricas. Pero todo lo anterior es importante el enterar a los usuarios de una forma más clara, tal vez a detalle de cuál es el proceso de generación y consumo de la energía y los beneficios directos de tomar estas medidas como podria ser una mayor calidad en el suministro de la energía.

Es indiscutible que una de las condicionantes actuales en la generación de energía para dar servicio a la sociedad actual, es el entorno ambiental y la utilización de los combustibles fósiles en mayor o menor medida estarán arrojando a la atmósfera grandes cantidades de

contaminantes. Esto aunado a el hecho que las reservas de estos combustibles se agotarán en algún momento, nos debe llevar a desarrollar otras alternativas de energía como son la biomasa o la energía solar, que como se ha presentado son una fuente prácticamente sin costo, partiendo del hecho que actualmente existen, aunque no se tiene implementada una tecnología tal que las convierta en una alternativa rentable económicamente. El caso particular de la biomasa, involucra dos cuestiones relevantes en cuanto a su uso, una de ellas es que, como desperdicios generalmente ocasionan el problema de su biodegradación y por otro lado el poder utilizarla como fuente de energía prácticamente gratuita nos presenta una oportunidad de ahorro considerable, en comparación con la energía solar, la biomasa es almacenable sin necesidad de costosos albergues.

En mi particular percepción de los temas tratados en esta tesis resalta el hecho, que es de suma importancia que los ingenieros mecánicos electricistas tengan una visión global, como la que se imparte en la Facultad de Ingeniería, considerando tanto los equipos mecánicos de generación y auxiliares como los combustibles utilizados para la generación en centrales termoeléctricas, para poder crear diseños cada vez más optimizados.

BIBLIOGRAFIA

**Orientation lectures series Comisión Federal de Electricidad México
Bechtel overseas corporation
July 1976**

**Power Station Engineering and Economy by Skrotzki and Vapot
1960 edition McGraw-Hill Book Company, New York, New York**

**Steam Power Plant by Philip J. Potter, 1949 edition
Ronald Press Company, New York, New York.**

Steam Turbines, June 196, B. G. A. Skrotzki

Bombas, June 1972, William O'Keefe

Ventiladores, March 1968, Robert J. Aberbach

Valves, March 1971, William O'Keefe Published by Power, New York, N. Y.

Know your condenser, 1961, Power Engineering Reprint

Power Plant Primer, 1972, Power engineering, Barrington,

Centrales Electricas

Fredenck T. Morse M.

Cecsa, México 1984, Decimo primera edición.

Tesis Aprovechamiento de la Energía Solar Biomasa

Carlos Hernández Madanaga

UNAM México, 1981

Anderson, Bruce "Solar energy"

McGraw Hill 1977