

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



CONSTRUCCION DE LA CENTRAL
TERMoeLECTRICA PETACALCO.
PRIMERA CENTRAL DUAL
(CARBON - COMBUSTOLEO)
DEL SISTEMA ELECTRICO NACIONAL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A:

FERNANDO PEREZ VAZQUEZ



DIRECTOR DE TESIS,

ING. ARTURO MORALES COLLANTES

MEXICO, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1994



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A mis padres por su cariño y apoyo...

a mis hermanos con afecto...

a la U. N. A. M.

y en especial a C. F. E.

1994.

CONSTRUCCION DE LA CENTRAL TERMoeLECTRICA
PETACALCO, PRIMERA CENTRAL DUAL
(CARBON-COMBUSTOLEO)
DEL SISTEMA ELECTRICO NACIONAL

CAPITULO I.- GENERALIDADES

I.1.- LOS RECURSOS ENERGETICOS DE MEXICO Y LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA.....1

I.2.- IMPORTANCIA DEL CARBON EN LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA

 2.1.- DIFERENTES TIPOS DE CARBON

 2.2.- COSTOS DE GENERACION CON DIFERENTES FUENTES DE ENERGIA

 2.3.- MECANISMOS DE COMERCIALIZACION

I.3.- CENTRALES DE GENERACION

I.4.- TIPOS DE CENTRALES DE GENERACION

I.5.- CENTRALES TERMoeLECTRICAS

I.6.- EQUIPO PRINCIPAL EN UNA CENTRAL TERMoeLECTRICA

CAPITULO II.- DESCRIPCION DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES EN UNA CENTRAL TERMoeLECTRICA

II.1.- GENERADOR DE VAPOR.....13

 1.1.- OBJETIVO

 1.2.- DESCRIPCION

 1.3.- COMBUSTION EN UN GENERADOR DE VAPOR

 1.4.- PARTES PRINCIPALES DE UN GENERADOR DE VAPOR

 1.5.- TIRO Y VENTILADORES

II.2.- TURBINA DE VAPOR

 2.1.- CARACTERISTICAS GENERALES

 2.2.- PRINCIPIOS DE OPERACION

 2.3.- PARTES PRINCIPALES DE UNA TURBINA DE VAPOR

 2.4.- CLASIFICACION DE LAS TURBINAS

II.3.- EL CONDENSADOR

3.1.- ASPECTOS GENERALES DE UN CONDENSADOR

3.2.- CONDENSADOR DE SUPERFICIE

3.3.- CONDENSADORES DE MEZCLA (CHORRO)

II.4.- SISTEMA DE CONDENSADO

4.1.- EQUIPO DEL SISTEMA DE CONDENSADO

II.5.- SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACION

5.1.- EQUIPO DEL SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACION

II. 6.- SISTEMA DE AGUA DE CIRCULACION

6.1.- EQUIPO DEL SISTEMA DE AGUA DE CIRCULACION

CAPITULO III.- DESCRIPCION DE LA CENTRAL TERMoeLECTRICA PETACALCO

III.1.- UBICACION DE LA PRIMERA CENTRAL TERMoeLECTRICA DUAL DEL PAIS.....35

III.2.- DESCRIPCION GENERAL DE LA C.T. PETACALCO

III.3.- ARREGLO GENERAL Y DE EQUIPO DE LA C.T. PETACALCO

3.1.- ARREGLO GENERAL

3.2.- ARREGLO DE EQUIPO

III.4.- CARACTERISTICAS DEL EQUIPO Y SISTEMAS DE LA C.T. PETACALCO

4.1.- SISTEMAS MECANICOS PRINCIPALES

4.2.- SISTEMA DE CONDENSADO

4.3.- SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACION

4.4.- SISTEMA DE AGUA DE CIRCULACION

4.5.- SISTEMA DE MANEJO DE CENIZAS

III.5.- USO Y MANEJO DE COMBUSTIBLES EN LA C.T. PETACALCO

5.1.- SISTEMA DE RECEPCION Y MANEJO DE CARBON

5.2.- SUMINISTRO Y EQUIPO DE COMBUSTION DE CARBON

5.3.- ANALISIS DE CARBON MINERAL NO COQUIZABLE (BITUMINOSO)

5.4.- ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE COMBUSTOLEO

5.5.- SUBSITEMA DE COMBUSTOLEO PRINCIPAL

5.6.- ANALISIS DE COMBUSTOLEO (BUNKER "C")

III.6.- FUNCIONAMIENTO DE LA C.T. PETACALCO

CAPITULO IV.- SISTEMA DE GENERACION PRINCIPAL

INTRODUCCION.....78

IV.1.- GENERADOR SINCRONO

1.1.- GENERALIDADES

1.2.- PRINCIPIOS DE OPERACION

1.3.- VOLTAJE GENERADO (E_G) EN UNA MAQUINA SINCRONA

1.4.- VELOCIDAD DE ROTACION EN UN GENERADOR

1.5.- CIRCUITO EQUIVALENTE

1.6.- TIPOS DE CONEXION

1.7.- PAR Y POTENCIA EN EL TURBOGENERADOR

1.8.- FUNCIONAMIENTO EN PARALELO DE DOS GENERADORES

1.9.- CURVAS DE CAPABILIDAD

2.0.- DESCRIPCION DEL EQUIPO AUXILIAR

IV.2.- SISTEMA DE EXCITACION

2.1.- ASPECTOS GENERALES

2.2.- INTRODUCCION

2.3.- TRANSFORMADOR DE EXCITACION

2.4.- REGULADOR DE VOLTAJE

2.5.- PUENTE RECTIFICADOR (SISTEMA DE UNIDAD DE CONVERSION C.A. A C.D.)

2.6.- INTERRUPTOR DE CAMPO (DESEXCITADOR)

IV.3.- BUS DE FASE AISLADA

IV.4.- TRANSFORMADOR PRINCIPAL

IV.5.- TRANSFORMADORES AUXILIARES

IV.6.- TRANSFORMADOR DE ARRANQUE

CAPITULO V.- CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

CAPITULO I

GENERALIDADES

I.1.- LOS RECURSOS ENERGETICOS DE MEXICO Y LA GENERACION DE ENERGIA

ELECTRICA

A lo largo de éste inciso se hablará de los recursos energéticos que México utiliza en la generación de energía eléctrica, así como el porque de la construcción de la primera Central Dual (carbón-combustóleo) del país: La Central Termoeléctrica Petacalco. (C.T. Petacalco).

- HIDROCARBUROS

Estos son, con mucho los más significativos, aquí cabe hacer mención de que México básicamente es un país monoenergético, ya que la oferta interna bruta de energía, dependiendo ésta de la demanda es más del 85 % de este recurso.

Según estos en los últimos reportes oficiales del año de 1987, nuestras reservas probadas de hidrocarburos ascendían a 69 mil millones de barriles de petróleo crudo equivalente. Nuestra producción diaria de crudo, condensado y líquidos era aproximadamente 2.95 millones de barriles, de los cuales 1.35 se destinaban a la exportación y 1.6 al consumo interno.

La producción diaria de gas natural era de 99.1 millones de metros cúbicos, equivalentes a 0.69 millones de barriles de crudo, todos ellos para consumo interno.

Cabe hacer notar que para la generación de energía eléctrica, en 1987 se usaron 0.25 millones de barriles diario de combustible y diesel, además de 8.9 millones de metros cúbicos diarios de gas.

En conjunto se destinó el 13.6 % del consumo interno total de hidrocarburos a la industria eléctrica, con lo cual se produjo el 68.9 % del total de electricidad generada en el país.

- ENERGIA HIDRAULICA

Aún cuando en 1979 se suponía que el potencial hidráulico del país ascendía a 172 mil millones de kWh (172 TWh), estudios más recientes revelan que el potencial aprovechable es apenas de 80 TWh, de los cuales ya se utilizan prácticamente 27.

En 1987 la capacidad total instalada en Centrales Hidroeléctricas era de 7 millones 546 mil kW. Durante 1988 se concluyeron los estudios de factibilidad de 18 proyectos, cuya ejecución incrementará la generación hidroeléctrica en 11 TWh adicionales.

El aprovechamiento de los 42 TWh restantes, aproximadamente en otros 52 proyectos, que requerirá varias décadas y su factibilidad dependerá de los estudios realizados y detallados de éstos en el futuro.

- ENERGIA GEOTERMICA

La reserva probada de esta fuente de energía es de 1.26 millones de kW y la probable de 4.2 millones de kW, repartidos en poco más de 15 sitios.

En 1987 existían ya en operación Centrales Geotérmicas con capacidad para producir 650 mil kW y era factible llegar a tener en el futuro un total de 2 millones de kW, que aportarían cuando mucho 14 TWh anuales.

- CARBON TERMICO

En general, México tiene poco carbón térmico, que sirve para producir calor y se aprovecha para la producción de energía eléctrica. La reserva probada es de 75 millones de toneladas y las posibles ascienden a 650 millones.

Para 1995, se habrá consumido el 69.3 % de la reserva probada en las Carboeléctricas de Carbón II y Río Escondido, ambas en el estado de Coahuila, quedando por consumir otros 206 millones de toneladas durante el resto de su vida útil; es decir, que tan solo en estas dos Centrales se gastarán 258 millones de toneladas de las 650 posibles.

En 1987 la capacidad instalada en Centrales Carboeléctricas era de 1 millón 200 mil kW y se supone que podría incrementarse hasta 7.5 millones de kW, que podrían generar 42 TWh al año.

- URANIO

Las reservas probadas de uranio en México son 14 600 toneladas, de las cuales 10 600 son explotables económicamente.

Estas reservas aseguran el combustible necesario para abastecer los dos reactores de la Central Nucleoeléctrica de Laguna Verde, durante toda su vida, con un excedente del 30 %.

Cabe mencionar que la exploración del territorio mexicano en busca de este energético, se ha cubierto solamente una pequeña parte de su superficie, por lo que es muy probable que las reservas se incrementen.

- NUEVAS FUENTES DE ENERGIA

De las investigaciones realizadas por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) y por diversas instituciones universitarias, se desprenden que estas formas de energía (eólica y solar) no alcanzan a satisfacer ni el 1 % de energía del país para el año 2000.

Ahora bien, a finales de 1987 México contaba con una capacidad instalada de generación de energía eléctrica de poco más de 23 millones de kW y la producción bruta nacional en este año fue poco más de 96 TWh.

Tomando en cuenta la necesidad de continuar con el desarrollo económico del país para atender el crecimiento de la nación y los niveles de vida, debe esperarse un aumento sostenido de la demanda eléctrica durante varias décadas, con tasas comprendidas entre el 4 % y el 8% según sean las tasas de crecimiento esperadas para el producto interno bruto y la población en las primeras décadas.

Suponiendo que fuera posible desarrollar al máximo la hidroeléctricidad, la geotermia y el carbón nacional a los ritmos máximos, y se diera la tasa de crecimiento del 4 % anual, habría un déficit en la producción de energía eléctrica, y la fuente energética dominante para la generación de energía eléctrica en las dos ó tres décadas siguientes seguiría siendo los hidrocarburos; a menos que se opte por otras alternativas; las cuales las dos únicas disponibles son: carbón importado y el uranio.

Haciendo un lado la alternativa de la energía nuclear y enfocando la atención al carbón mineral.

El carbón es el recurso energético más abundante en la tierra, sin embargo constituye una mercancía especial que solo es posible adquirir mediante contratos de precio variable con los países en donde se encuentra este recurso.

México actualmente tiene tratos con varios países para la importación de carbón mineral no coquizable, el cuál llegaría por vía marítima a los puertos del Golfo de México y el Océano Pacífico.

Con base a las consideraciones anteriores y en los objetivos y estrategias que señala el Programa Nacional de Energéticos, los cuales tiene los siguientes puntos sobresalientes:

- * Diversificar el aprovechamiento de las fuentes de energía.
- * Lograr un ahorro en la utilización de recursos no renovables.
- * Utilizar eficazmente la capacidad ya instalada para la producción de energía eléctrica.

Entonces queda claro, que la vía más adecuada, para un país como el nuestro, es desarrollar al máximo ritmo posible nuestros recursos: hidroeléctricos, geotérmicos y carboeléctricos y cubrir el grueso de las necesidades restantes con un programa mixto de Centrales Duales, que puedan quemar indistintamente combustóleo y carbón importado.

De ésta manera, se limitaría al mínimo, la generación de electricidad con Centrales Termoeléctricas convencionales, para cubrir las necesidades marginales restantes mediante la explotación racional de nuestros recursos en hidrocarburos.

1.2.- IMPORTANCIA DEL CARBON EN LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA

A partir de la crisis del petróleo, con el aumento drástico del precio de este en el periodo de 1973-1974; el papel del carbón como una alternativa energética mundial, ha cobrado creciente importancia, después de casi un siglo con la tendencia al uso del petróleo en gran medida como energético.

En efecto, durante los últimos quince años el consumo de carbón duro creció a un ritmo de 3 % anual, ligeramente superior al consumo de energía total mundial, debido principalmente a su creciente utilización en la generación de electricidad.

La minería del carbón desde sus orígenes dió lugar a intercambios regionales. En un principio las industrias que lo utilizaron se situaron cerca de las minas y despues en lugares relativamente alejados de las mismas, originando con ello que las transacciones se llevaran a cabo, entre los países cercanos, sin embargo, a finales de las década de los años sesentas, en el comercio internacional tenía poca importancia.

Durante la siguiente década hubo incrementos en las exportaciones entre diversos países, principalmente con aquellos en los que se tenían amplios programas de desarrollo y expansión en su industria metalúrgica.

En está década se significa por los problemas originados por el embargo de petróleo árabe a los países occidentales hacia 1973, el incremento de los precios del petróleo incentivó a varios países para tratar de sustituirlo por otros energéticos, entre ellos el carbón y el uranio, para la generación de energía eléctrica.

Diversos organismos internacionales ya formados o en estado incipiente de formación, promovieron estudios cuyo objetivo era motivar a países en desarrollo fundamentalmente, para que cambiasen sus hábitos de consumo de enrgéticos, argumentando las bondades del carbón y exaltando las grandes reservas de éste energético con que cuenta la humanidad.

A través del ofrecimiento de amplios y flexibles programas de financiamiento se logró convencer a la mayor parte de los países, cambiar el petróleo por carbón, tanto en Centrales Térmicas ya existentes, como en las que se habían programado para el futuro, con lo cual se lograría preservar por más tiempo las finitas reservas de hidrocarburos.

Nació así la tendencia mundial de la conversión de Centrales Térmicas a base de petróleo por carbón, lograndose que diversos países de Asia y por supuesto México, considerar poner en práctica estas políticas energéticas.

I.2.1.- DIFERENTES TIPOS DE CARBON

Para los diferentes características y usos que el carbón tiene, estos se calsifican en las siguientes categorías:

- ANTRACITAS

- BITUMINOSOS

- SUBITUMINOSOS

- LIGNITOS

La Comisión Económica Europea, reconoce dos grandes categorías del carbón, que normalmente se agrupa para contabilizarlas reservas y los recursos, las cuáles son:

- HARD COAL (carbón duro), que agrupa carbones con poder calorífico superior a 5 700 kcal/kg, en base seca y libre de cenizas.

- BROWN COAL (carbones cafés), que agrupa carbones con poder calorífico menor a 5 700 kcal/kg, en base seca y libre de cenizas.

Para motivos estadísticos de producción, comercialización y uso principalmente, la IEA/OECD (Institute Energy American)/(Organización de la Cooperación Económica y el Desarrollo), emplea estas dos categorías subdividiéndolas en:

a) HARD COAL, en el cuál quedan agrupados:

- Carbón Coquizable; cuyas características físicas y químicas permiten su transformación en coque para usos metalúrgicos, por lo que también se llama carbón metalúrgico (Coking Coal).

- Carbones Bituminosos y Antracitas que no son coquizables. Incluyendo además otros carbones de menor grado que puedan ser recuperables, comúnmente está categoría de carbones se conoce como: carbón térmico ("Steam Coal").

b) BROWN COAL, donde quedan comprendidos los siguientes carbones:

- Carbones Subbituminosos; definidos como no aglomerantes, cuyo poder calorífico fluctúa entre 4 165 kcal/kg a 5 700 kcal/kg.

- Lignitos; definidos también como no aglomerantes, cuyo poder calorífico es menor de 4 165 kcal/kg.

En la figura 1 se muestran las reservas mundiales de carbón.

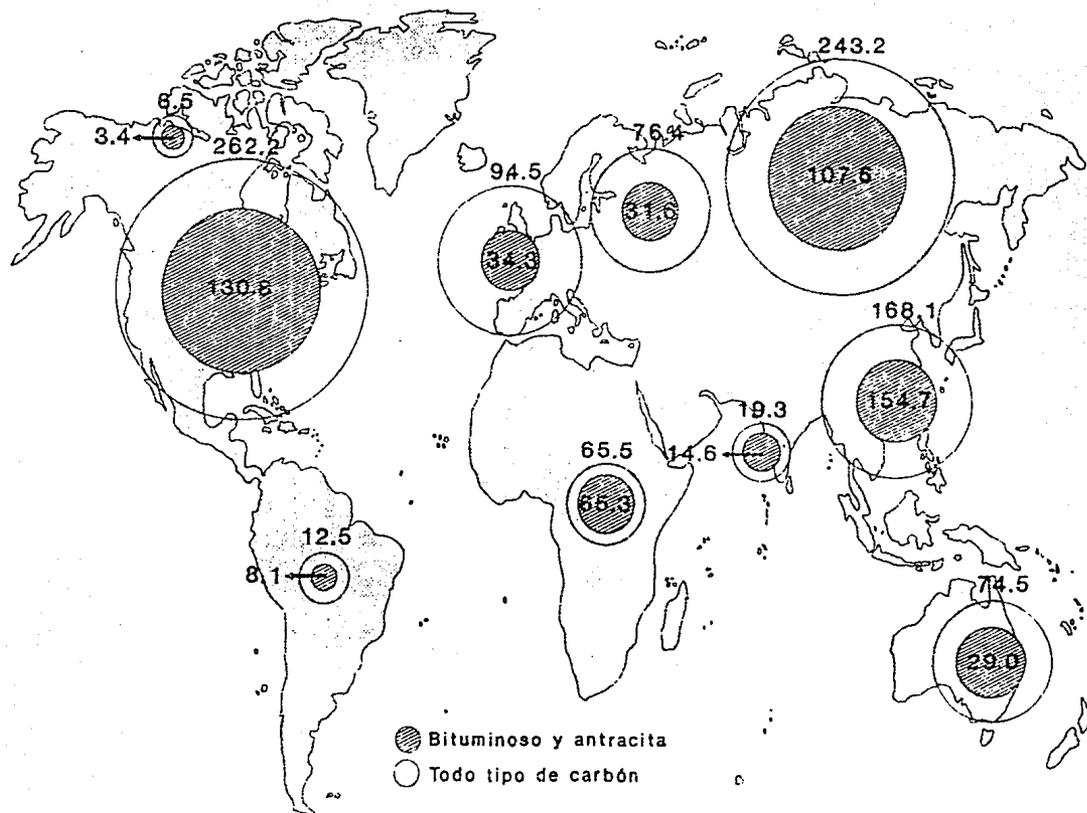


FIG. 1.- RESERVAS MUNDIALES DE CARBON A FINALES DE 1988 (10⁹ ton.)

1.2.2.- COSTOS DE GENERACION CON DIFERENTES FUENTES DE ENERGIA

Las diferentes formas de producir electricidad puede compararse con el "Auxilio de Costo Nivelado de kWh Generado" (en base a la referencia de: CFE; Subdirección de Programación. "Costos y parametros de referencia para la formulación de proyectos de inversión en el Sector Eléctrico"). Este concepto incluye los costos imputables a:

- la inversión
- el combustible
- el mantenimiento
- la operación

De las Centrales de Generación que se hable en cuestión.

Con precios medios de 1990 y una tasa de descuento del 12 %, se compara en la figura 2, los costos nivelados de las principales formas de generación y/o se utilizarán en la década de los 90; saber:

1.- Central Térmica convencional	2 X 250 MW
2.- Central turbo-gas diesel	1 X 30 MW
3.- Central de ciclo combinado (gas)	1 X 250 MW
4.- Central Carboeléctrica con carbón nacional	2 X 350 MW
5.- Central Carboeléctrica con carbón importado	2 X 350 MW
6.- Central Nucleoeléctrica (EEUU) mejorada	2 X 1000 MW
7.- Central Geotérmica tipo Cerro Prieto	2 X 110 MW
8.- Central Hidroeléctrica tipo Aguamilpa	3 X 320 MW

Al observar la figura 2, la Central turbo-gas diesel, rebasa hasta en un 146 % el costo nivelado total de una Central Térmica convencional; el costo del combustible es el principal causante de está marcada diferencia. El resto de las Centrales oscilan, en costo de su kWh nivelado, alrededor de la térmica convencional.

Así por ejemplo, la Central de Ciclo Combinado con gas (1 X 250 MW) y/o la Central Hidroeléctrica tipo Aguamilpa (3 X 320 MW) se sitúan con un sobrecosto de sólo el 20 %, mientras que la Central Carboeléctrica convencional (2 X 350 MW) con carbón nacional y/o la Central Geotérmica tipo Cerro Prieto (2 X 110 MW) representa el 92 % de la Central base (Central Térmica convencional).

La opción más barata de todas las Centrales es la: "Carboeléctrica con carbón importado" o sea una Central Dual, en este caso el costo nivelado es de \$ 130 viejos pesos/kWh y representa el 88 % de la Central base.

Para la década de los 90, se tienen pronósticos de la evolución que podrían tener los costos de los combustibles fósiles y nuclear. (fig. 3). Se estima que el combustible subiera hasta un 40 % sobre el precio que actualmente tiene, es decir de 10.03 a 14.76 % dolares/millón kcal.

Se pronostica que el diesel y el gas también tendrán incrementos de 22 y 55 %, respectivamente, para el mismo período considerado.

En éste caso se supone que el carbón nacional, se mantendrá estable alrededor de los 8 dolares/millón kcal.

Finalmente, los combustibles más baratos, son el carbón de importación y el uranio; ambos se mantendrán estables entre 1990 y 1999, oscilando alrededor de los 6 dolares/millón kcal.

I.2.3.- MECANISMOS DE COMERCIALIZACION DEL CARBON

El contar con el suministro para los volúmenes requeridos, en el momento que se necesita, y a un precio aceptable, requiere de una adecuada técnica de comercialización; sin embargo, no existen fórmulas, ni procedimientos claves que conduzcan a una comercialización con un resultado óptimo.

No obstante, es posible mencionar algunos elementos básicos que se requieren en una transacción de carbón, y que a continuación se mencionan:

- Un adecuado conocimiento del mercado; el conocer quién, cómo, cuándo y dónde se está ofertando carbón en el mundo. Condiciones de venta, transporte, costos de los mismos, situaciones políticas y económicas de un posible vendedor o comprador, son algunos de los factores que sin duda afectarán una negociación de carbón.

- La información oportuna y veraz sobre las condiciones del mercado; éste elemento va siempre estrechamente ligado al anterior. En este aspecto, debemos mencionar la importancia de contar con mecanismos especializados de información, así como tener "contactos" para una posición negociadora favorable.

- El denominado "felling del mercado"; que se adquiere a base de experiencia, practica y sentido común a las operaciones comerciales.

CONTRATOS DE COMPRA-VENTA

Los contratos de compra-venta se llevan a cabo principalmente en tres modalidades:

1. Contratos a largo plazo
2. Contratos a corto plazo y mercado "spot"
3. Otros arreglos

Contratos a largo plazo.- este tipo de contrato puede abarcar de 10 a 20 años. La contratación a largo plazo tiene ventajas tanto para el comprador como para el vendedor de carbón.

El vededor se beneficia asegurando una venta que le permite financiar la explotación de nuevas minas, con la certeza de contar con ingresos continuos.

El consumidor se beneficia, ya que en un contrato de éste tipo puede reducir el costo unitario en la compra de carbón y asegurar el suministro; ya que los costos políticos y económico de suspender la producción de energía eléctrica son muy altos.

Contratos a corto plazo y mercado "spot".- es práctica común entre los compradores de carbón, la adquisición de carbón a corto plazo (1 ó 2 años), o en el mercado "spot".

Estas contrataciones, como en el caso del petróleo, permiten hacer compras de "oportunidad" a bajo costo. En Estados Unidos, por ejemplo, muchos consumidores de carbón térmico, compran

hasta un 25 % de sus requerimientos en estos terminos, llegando a adquirir hasta el 50 % en estas condiciones.

Otros arreglos.- Arreglos alternativos, son la coinversión, entre el consumidor de carbón y el (los) propietario (s) de las minas, o las compras de las mismas ó la "exclusividad" en la compra de carbón de una o un conjunto de minas. En Estados Unidos éste tipo de conversión es muy usado, aunque se realiza fundamentalmente en el mercado de carbón metalúrgico.

I.3.- CENTRALES DE GENERACION

Una Central de Generación es una instalación completa con el objetivo de producir Energía Eléctrica.

La energía eléctrica, se produce como resultado de una serie de transformaciones de energía (fig. 4). Estas transformaciones de energía se realizan precisamente dentro de una Central.

La Central debe de contar con alguna forma de energía disponible, a partir de la cuál se inician todas las transformaciones necesarias hasta llegar finalmente a la energía eléctrica.

I.4.- TIPOS DE CENTRALES DE GENERACION

Existen diversos tipos de Centrales de Generación, (fig. 5), la diferencia entre los tipos de Centrales, está en la forma que se encuentra la energía disponible y las trasformaciones que se deben efectuar, así como, el equipo y dispositivos necesarios, que también son diferentes según el tipo de Central.

	HIDROELECTRICAS
	DE COMBUSTION INTERNA
	TURBOGAS
TIPOS DE CENTRALES	TERMoeLECTRICAS
DE GENERACION	CICLO COMBINADO
	GEOTERMICAS
	NUCLEOELECTRICAS

I.5.- CENTRALES TERMOELECTRICAS

Enfocaremos nuestra atención a un tipo de Central de Generación, ya que la Central en cuestión es una Central Termoeléctrica. Observando la figura 6 y recordando lo escrito en el inciso 1.3, las transformaciones de energía que se efectúan en este tipo de Centrales.

La fuente de energía disponible es: un combustible (petróleo, gas, diesel, carbón, combustóleo, etc). La energía se encuentra almacenada en el combustible según su composición química y se libera haciendo que produzca una reacción química, que en este caso es la combustión.

Al producirse la combustión ya se tiene la primera transformación de energía, es decir, la energía química del combustible se transforma en calor (energía calorífica): en la flama y en los gases calientes de la combustión.

Si la energía calorífica de los gases se emplea para calentar agua y producir vapor, ya se tiene otra transformación de energía.

Los gases ceden parte de su energía al vapor, teniéndose ahora vapor con mayor energía que llamaremos: energía térmica. (Para diferenciarla con el término de "energía calorífica" asignado a los gases calientes).

La energía del vapor se transforma en trabajo mecánico en una Turbina de Vapor; con lo cuál se tiene otra transformación de energía.

Finalmente, si la Turbina esta acoplada mecánicamente a un Generador Eléctrico, se tiene la última transformación de energía, y se llega al objetivo: La producción de Energía Eléctrica.

Estas transformaciones de energía citadas anteriormente se efectuan dentro de una: Central Termoeléctrica, que cuenta con el equipo para realizarlas.

Por lo tanto, éstas transformaciones hacen que la Central sea precisamente Termoeléctrica y no de otro tipo.

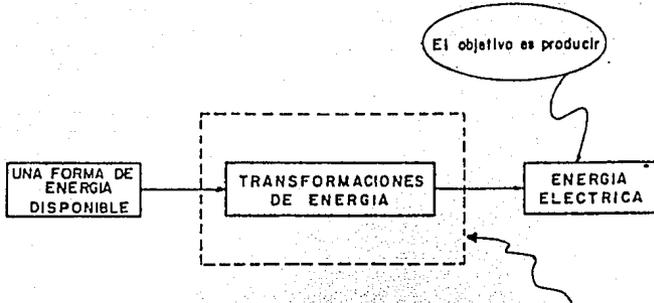


FIG. 4.- TRANSFORMACION DE ENERGIA EN UNA CENTRAL DE GENERACION

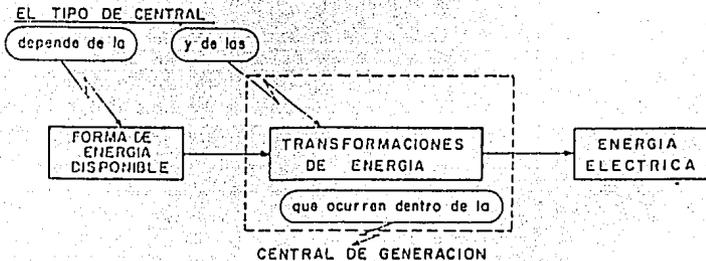


FIG. 5.- DIFERENTES TIPOS DE CENTRALES DE GENERACION

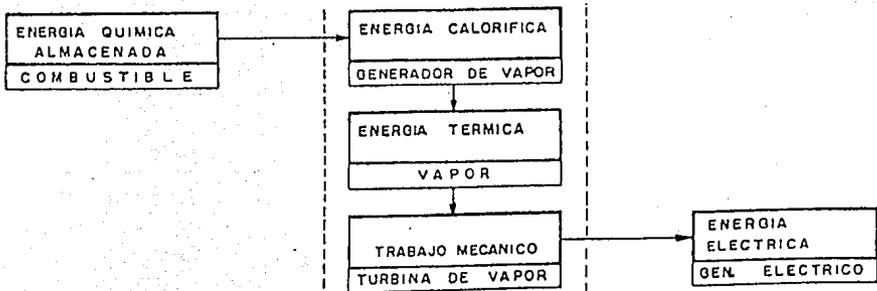


FIG. 6.- TRANSFORMACION DE ENERGIA EN UNA CENTRAL TERMoeLECTRICA

1.6.- EQUIPO PRINCIPAL DE UNA CENTRAL TERMOELECTRICA

Todo el equipo de una Central Termoeléctrica (C.T.) es importante, pero de acuerdo a su participación directa en la obtención del objetivo, así como por su tamaño y costo, se clasifica a los siguientes equipos como principales: (ver figuras siguientes: 7, 8, 9 y 10 respectivamente).

- a) GENERADOR DE VAPOR
- b) TURBINA DE VAPOR
- c) GENERADOR ELECTRICO
- d) CONDENSADOR

En la figura 11 se muestra la interrelación del equipo principal en una Central Termoeléctrica.

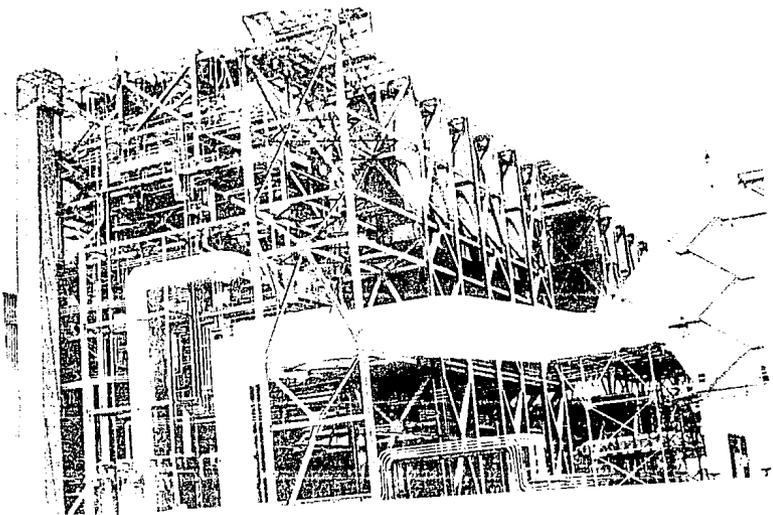


FIG. 7.- VISTA LATERAL DEÑ GENERADOR DE VAPOR

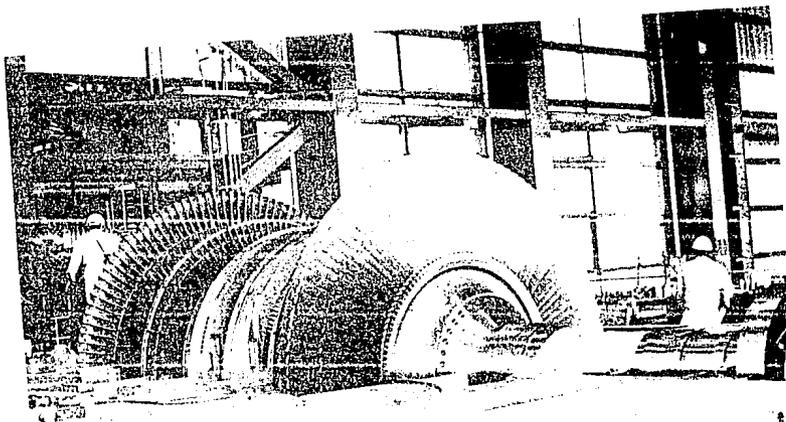


FIG. 8.- TURBINA DE VAPOR

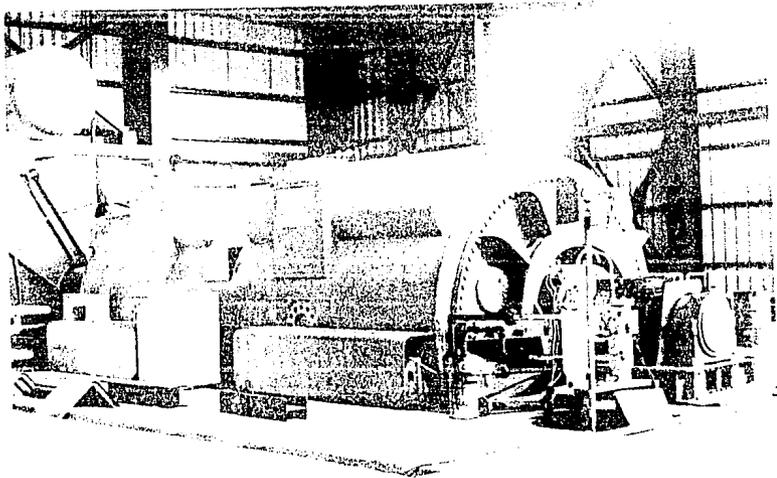


FIG. 9.- GENERADOR ELECTRICO; ATRAS VISTA PARCIAL DE LA TURBINA

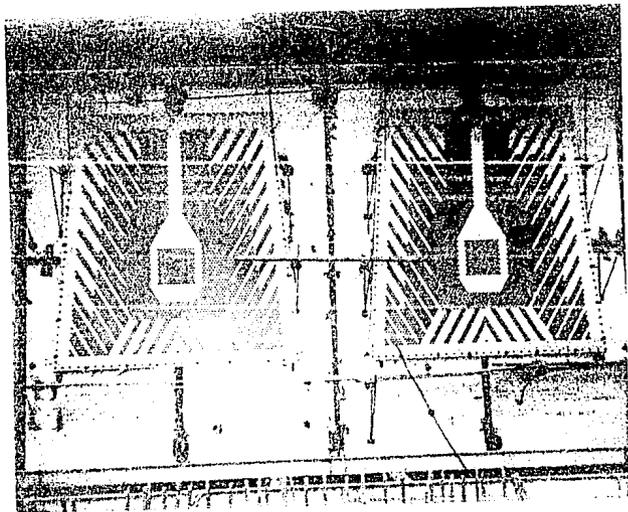


FIG. 10.- VISTA PARCIAL DEL CONDENSADOR

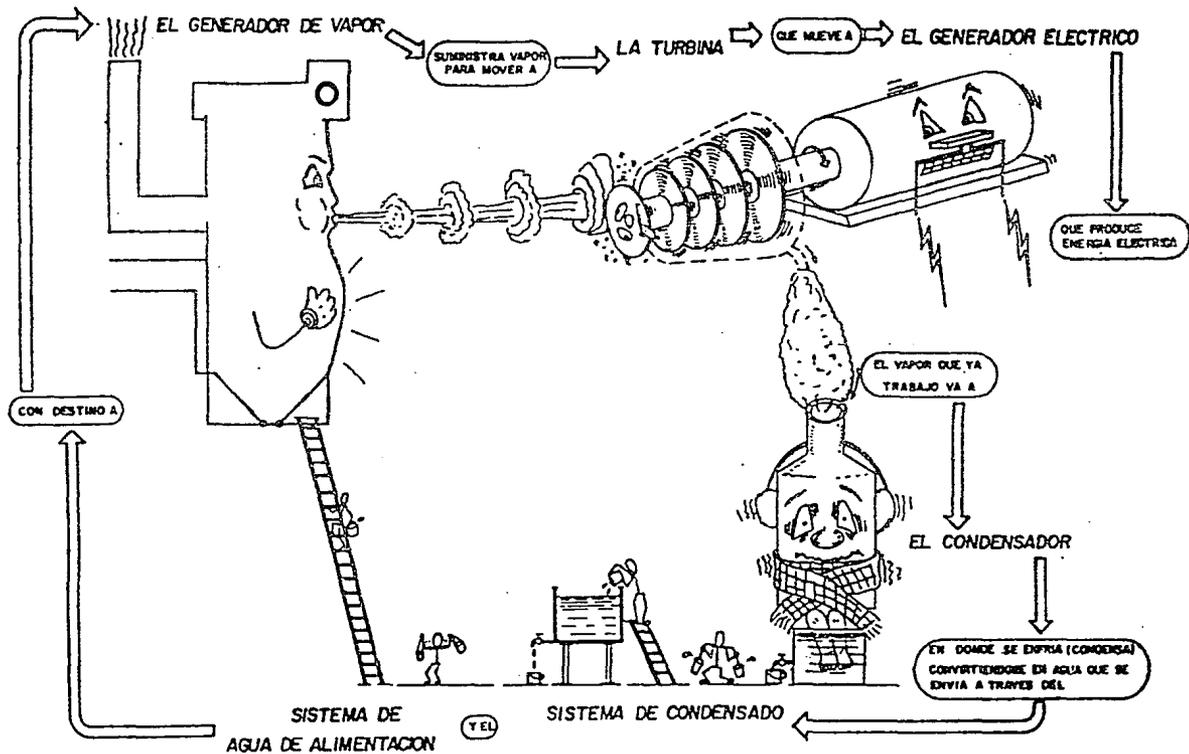


FIG. 11.- EQUIPO PRINCIPAL DE UNA CENTRAL TERMoeLECTRICA

CAPITULO II

DESCRIPCION DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES DE UNA CENTRAL

TERMoeLECTRICA

INTRODUCCION

En éste capítulo se hablará sobre las diferentes equipos principales que conforman una Central Termoelectrica, y sus interrelaciones entre ellos mismos; estos equipos que a continuación aparecen, se explican por orden de transformación de energía.

II.1.- GENERADOR DE VAPOR

II.1.1.- OBJETIVO

Como ya se dijo anteriormente, en el Generador de Vapor, es el primer elemento donde se produce la primera transformación de energía, la cuál, está energía transformada es aprovechada por la Turbina de Vapor; por lo tanto los objetivos del Generador de Vapor son dos:

- a) Realizar la combustión, para liberar energía en forma de calor.
- b) Producir vapor, con determinadas características de presión y temperatura.

II.1.2.- DESCRIPCION

El Generador de Vapor está constituido por un conjunto de elementos integrados y dispuestos de tal forma que se realiza la combustión y se absorbe el calor producto de está combustión , en forma eficiente para el calentamiento del agua y aire.

En las figuras 1 y 2 se muestran 2 diferentes Generadores de Vapor.

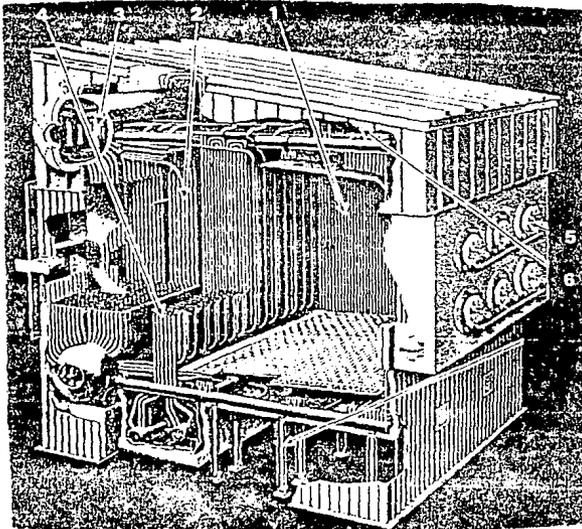


FIG.1.- CALDERA DE CONSTRUCCION COMPACTA. 1.-HOGAR 2.-HAZ TUBULAR
3.-CIRCUITO DE AGUA 4.-RECALENTADOR 5.-QUEMADORES 6.-CIR-
CUITO DE AIRE.

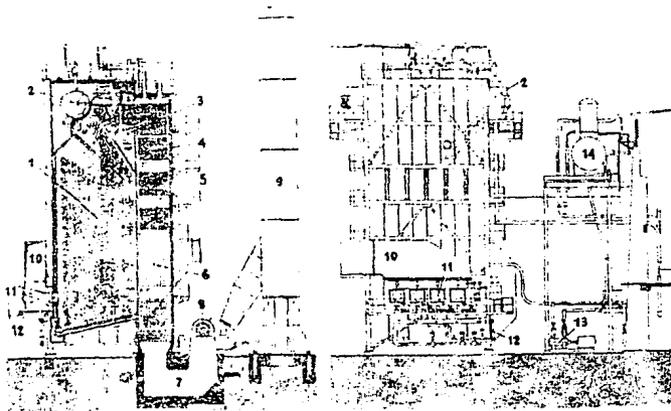


FIG.2.- CALDERA DE RADIACION. 1.-CAMARA DE COMBUSTION 2.-DOMO
3 y 4.- RECALENTADORES 5.-ECONOMIZADOR 6.-PRECALENTADORES
DE AIRE 7.-CONDUCTOS DE HUMO 8.- VENTILADORES DE TIRO
INDUCIDO 9.- CHIMENEA 10.-CAJA DE AIRE 11.-QUEMADORES
12.- TUBERIA DE COMBUSTIBLE 13.-BOMBA DE ALIMENTACION DE
LA CALDERA 14.-TANQUE DE AGUA DE ALIMENTACION DEL DESGA-
SIFICADOR.

II.1.3.- COMBUSTION EN UN GENERADOR DE VAPOR

La combustión (del combustible y el aire necesario) se produce en un recinto de éste llamado: Hogar (ver fig. 3). El combustible, puede ser líquido, sólido o gaseoso, (para la C.T. Petacalco es carbón o combustóleo) y se alimenta continuamente al Hogar mediante los "quemadores", que también forman parte del Generador de Vapor.

La combustión en el Hogar, libera el calor que será aprovechado por determinadas partes del Generador de Vapor para:

- a) Calentar agua.
- b) Transformar agua en vapor.
- c) Sobrecalentar el vapor.

Los gases calientes producto de la combustión salen del Hogar y son conducidos por pasajes y ductos antes de escapar a la atmósfera por medio de la chimenea.

En estos pasajes, se encuentran otros elementos del Generador de Vapor, que son calentados por los gases calientes. Estos elementos se explican a continuación con más detalle en el inciso siguiente.

II.1.4.- PARTES PRINCIPALES DEL GENERADOR DE VAPOR

Las partes principales de un Generador de Vapor, son aquellos elementos que absorben calor y son:

- a) La Caldera
- b) El Sobrecalentador
- c) El Recalentador
- d) El Economizador
- e) Los Precalentadores de Aire

A continuación se muestra en forma general la ubicación de los elementos nombrados anteriormente, (ver fig. 4) así como una breve descripción de cada uno de los elementos que la conforman.

1. LA CALDERA

La Caldera es el elemento principal del Generador de Vapor, ya que absorbe gran cantidad de calor con la finalidad de calentar agua para convertirla en vapor.

La Caldera según su concepción primitiva es esencialmente un recipiente con agua, (ver fig. 5) la cuál se le aplica calor para convertir continuamente agua en vapor, requerido para la Turbina de Vapor.

Las Calderas de los Generadores de Vapor de grandes capacidades no se parecen físicamente a la figura 5.

Es evidente con respecto a la figura 5, se puede aumentar la cantidad de calor aplicado si se aumenta la superficie calentada, debido a que más agua está en contacto con la superficie caliente y se produce mayor cantidad de vapor.

Una forma de hacer lo anterior es, fabricar recipientes más grandes, lo cual no es practico, por el espacio que ocuparía ni económico.

Entonces se sustituye el recipiente, por un conjunto de tubos (más superficie) ó tambien haciendo que los gases calientes, circulen por el interior de los tubos, que atraviesan el recipiente. (figuras 6a y 6b; respectivamente)

Las Calderas pueden clasificarse, según la distribución de los gases calientes (producidos por la combustión) y el agua, en dos tipos:

TUBOS DE AGUA
(ACUATUBULARES)

Tipos de Caldera
(según la distribución del
agua y de los gases)

TUBOS DE HUMO
(PIROTUBULARES)

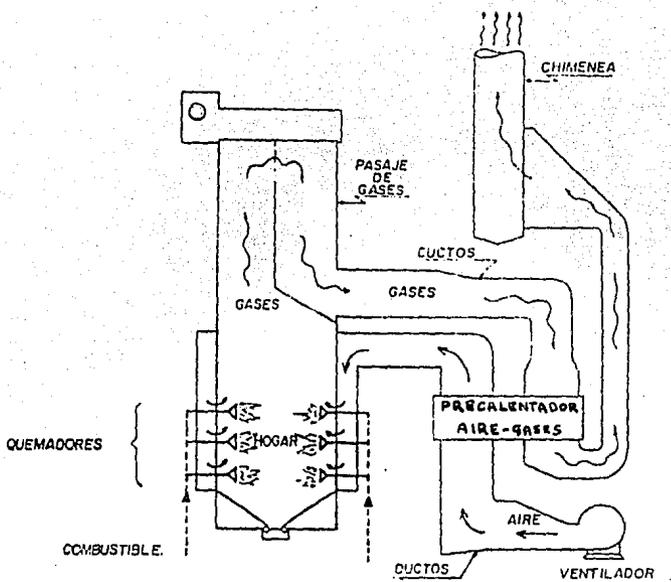


FIG.3.-COMBUSTION EN UN GENERADOR DE VAPOR

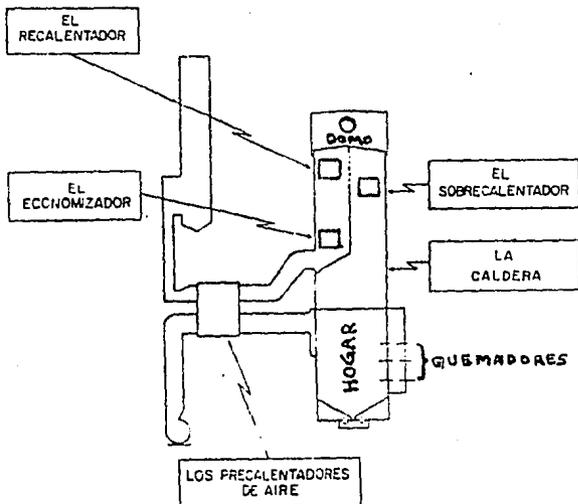


FIG.4.- COMPONENTES PRINCIPALES EN UN GENERADOR DE VAPOR

Tubos de Agua (Acuatubulares).- El agua se encuentra en el interior de los tubos y los gases pasan al exterior. (Fig. 6a)

Tubos de Agua (Piro tubulares).- Los gases circulan por el interior de los tubos y el agua se encuentra en el exterior. (fig 6b)

Las Calderas de los Generadores de Vapor modernos y de grandes capacidades, como los instalados en las Centrales Termoeléctricas, (la C.T. Petacalco no es la excepción) son del tipo: "acuatubulares", las cuáles están constituidas por grandes cantidades de tubos, alineados uno junto a otro y formando una pared continua que envuelve al Hogar, (fig. 7) dejando un espacio en el interior donde se produce la combustión.

Los tubos están llenos de agua, que al calentarse se produce el vapor. Los cabezales que se ven en la figura sirven para interconectar a los tubos y no están expuestos al calor.

Cuando se está calentando a superficie de un tubo, que contiene agua para producir vapor, debe existir interiormente una circulación efectiva del agua para evitar que las paredes sometidas al calor sufran un calentamiento excesivo y lleguen a fallar. (fig. 9a)

En las Calderas de los Generadores de Vapor modernos se tiene previsto esté fenomeno y se dispone de diferentes medios para producir una circulación efectiva del agua y del vapor dentro de los tubos y recipientes. Las formas de lograr está circulación se verá más adelante. (fig. 9b)

Definición, configuración y elementos de una Caldera

La Caldera; como se dijo anteriormente, es el elemento más importante de un Generador de Vapor, la cuál está constituida por miles de tubos, cabezales y recipientes, que forman parte del circuito de circulación de agua ó de la mezcla: agua-vapor.

La configuración general de una Caldera se puede observar en la figura 8; y a continuación se dará una breve descripción de cada uno de los elementos de está.

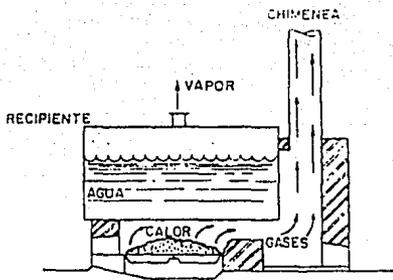
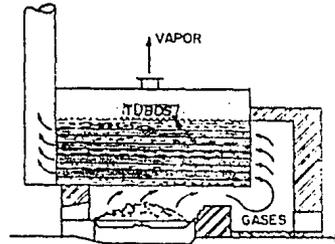
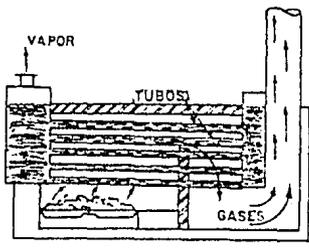


FIG. 5.- FORMA BASICA DE UNA CALDERA



a) Agua por el interior de los tubos

b) Gases por el interior de los tubos

FIG. 6.- LOS TUBOS SUSTITUYEN AL RECIPIENTE (MAYOR SUPERFICIE DE CALENTAMIENTO)

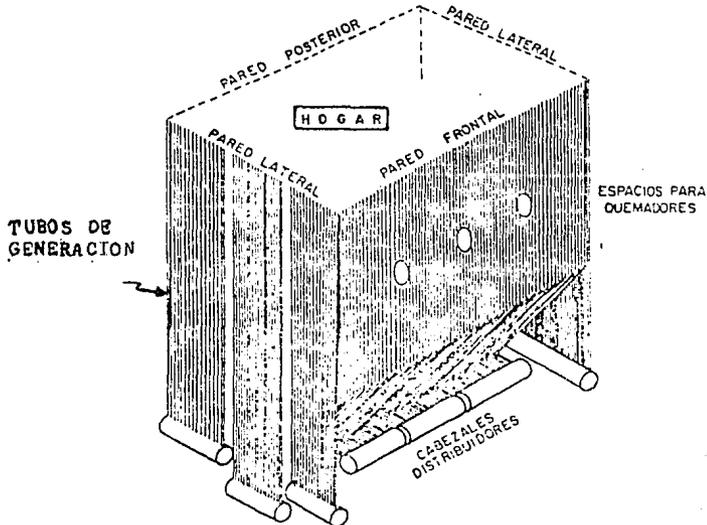


FIG. 7.- MILES DE TUBOS FORMANDO LAS PAREDES DE UNA CALDERA

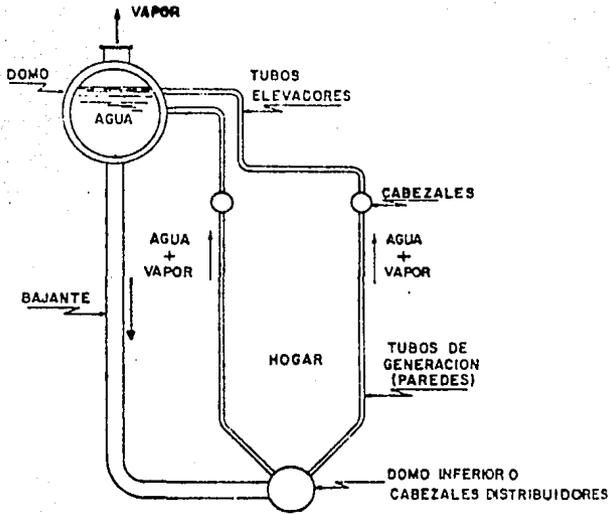


FIG. '8.- PARTES QUE COMPONEN UNA CALDERA

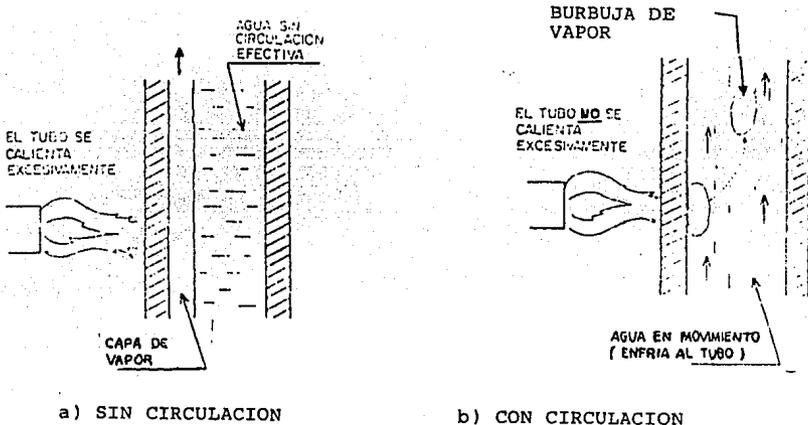


FIG. 9.- COMPORTAMIENTO DEL AGUA Y EL VAPOR EN EL INTERIOR DE UN TUBO

Tubos de Generación.- Aquí se realiza el calentamiento de agua y parte de éste se convierte en vapor. Los tubos se agrupan alineandolos uno junto a otro para constituir las paredes del Hogar, (y también los pasajes de gases) en la figura 8, a manera de ejemplo sólo se indican dos tubos.

Tubos elevadores.- Son tubos de enlace entre los Tubos de Generación y el Domo. En su interior llevan una mezcla de agua-vapor, producida en los Tubos de Generación, con destino al Domo. Los Tubos elevadores no están expuestos al calor.

Domo.- Es un recipiente cilíndrico horizontal, con determinado nivel de agua. Aquí se realiza la separación del vapor producido y el agua; está separación se realiza por medio de separadores ciclónicos. El vapor sale por la parte superior con destino a otros equipos del Generador de Vapor. El Domo no está expuesto al calor.

Bajantes.- Son unas tuberías de mayor diámetro que los Tubos de Generación, que viajan por el exterior del Hogar y no están expuestos al calor. Contienen agua que debe circular hacia abajo y por esta razón su nombre; estos tubos están conectados, en su parte superior al Domo y en la parte inferior a los "Cabezales".

Cabezales.- Son depósitos, que sirven como distribuidores o descargas comunes de un grupo de tubos. Enlazan a los Tubos de Generación con los Tubos Bajantes o Tubos Elevadores. No están expuestos al calor.

Formas de circulación de la mezcla-agua vapor en una Caldera

Circulación Natural.- Se logra en forma natural. (ver figura 10) Al calentarse los Tubos de Generación se empieza a producir burbujas de vapor; el peso de la columna de agua con vapor, dentro de los Tubos de Generación es de menor peso que la columna de agua que hay en el interior de los Tubos Bajantes.

Esta diferencia de peso es una fuerza resultante que inicia la circulación del agua, hacia abajo por los Tubos Bajantes, y de la mezcla agua-vapor hacia arriba de los Tubos de Generación. (fig. 10)

Mientras se esté aplicando calor a los Tubos de Generación, el circuito mantiene la circulación, haciendo que continuamente llegue al Domo una mezcla de agua-vapor.

Como se está produciendo vapor, es necesario la reposición continua de agua, la cual se hace por medio del "Sistema de Agua de Alimentación" y así evitar la disminución del nivel del Domo y como consecuencia la Caldera quede seca.

Circulación Controlada.- Como la Circulación Controlada es un tipo de "Circulación Forzada", es frecuente denominarlas indistintamente. Está circulación se logró con una bomba que suministra la presión necesaria para provocarla.(fig. 11)

El uso de la bomba permite que los Tubos de Generación tengan menor diámetro, más cambios de dirección, bajadas, etc., que implica mayor resistencia al flujo y no serían tolerables en la "Circulación Natural".

Metodos de separacion agua-vapor en el Domo

Al llegar la mezcla agua-vapor al Domo; es necesario separar el agua del vapor, ya que está agua es perjudicial tanto para equipos del mismo Generador de Vapor así como de la Turbina de Vapor; por lo tanto es necesario contar con dispositivos, que eviten este fenómeno haciendo que el vapor sea seco; ya que este vapor se le denomina:"vapor humedo".

En las figuras 12 y 13 se observan los efectos en el arrastre de agua y la indicación errónea en el nivel de un Domo sin dispositivos de separación para diversas condiciones de operación.

Los dispositivos de separación más comunes en el Domo son:

- Separadores primarios.- Inducen un movimiento rotativo ciclónico al vapor. La fuerza centrífuga sobre las gotas de agua arrastrada (más pesada) hace que éstas se proyecten a la periferia de un cilindro y escurran hacia abajo. (fig. 14)

- Separadores secundarios.- Formados por paquetes de láminas acanalada. El vapor pasa por una ruta tortuosa en los espacios de dos láminas, los cambios de dirección hace que el agua se proyecte hacia las láminas y escurra en los bordes. (fig. 14)

- Secadores.- También formado por lámina acanalada, corrugada o mallas, que efectúan una acción final de separación o secado. (fig. 14)

Después de haber hecho la separación de la mezcla agua-vapor en el Domo, este vapor recibe el nombre de: "vapor saturado"; y llega a la siguiente etapa del Generador de Vapor que absorbe calor el cual se llama: "Sobrecalentador"

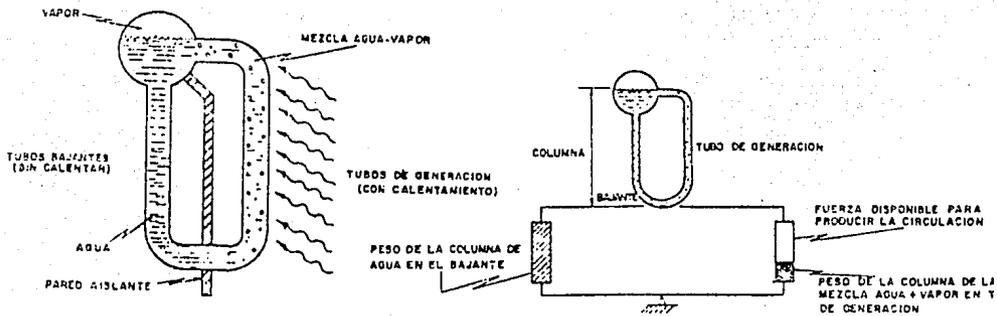


FIG. 10.- PRINCIPIO FISICO DE LA CIRCULACION NATURAL

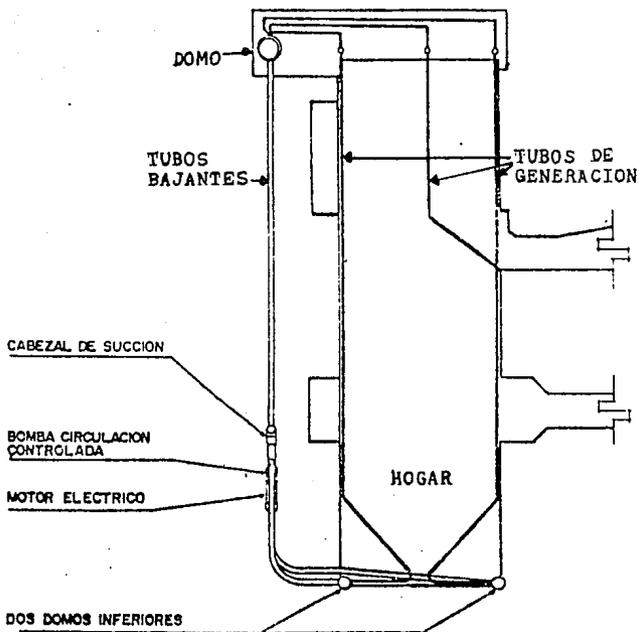


FIG. 11.- GENERADOR DE VAPOR CON CIRCULACION CONTROLADA

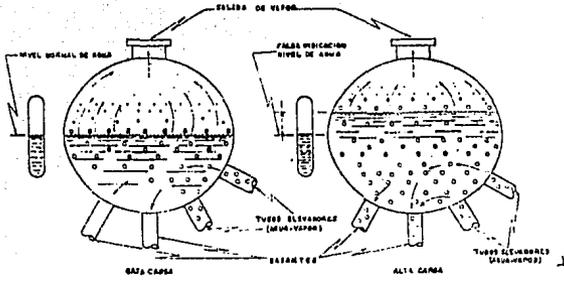


FIG. 12.-EFECTO DE LA CANTIDAD DE VAPOR PRODUCIDO EN UN DOMO SIN DISPOSITIVO DE SEPARACION

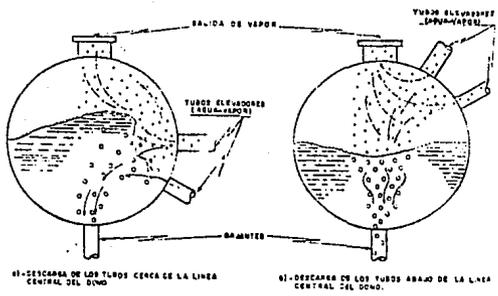


FIG. 13.- EFECTO DE LA LOCALIZACION DE LA DESCARGA DE LA MEZCLA AGUA-VAPOR EN UN DOMO SIN DISPOSITIVO DE SEPARACION

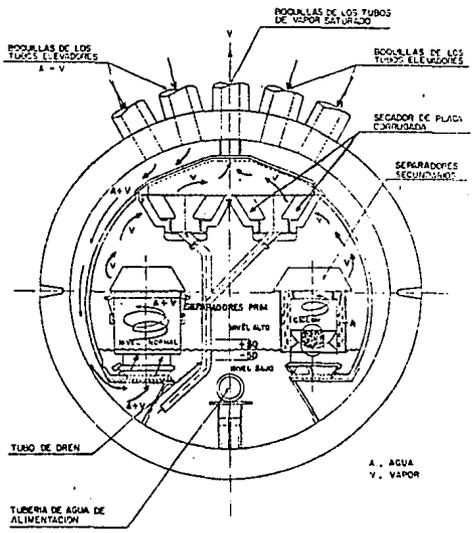


FIG. 14.- SEPARADORES DE AGUA-VAPOR EN EL DOMO

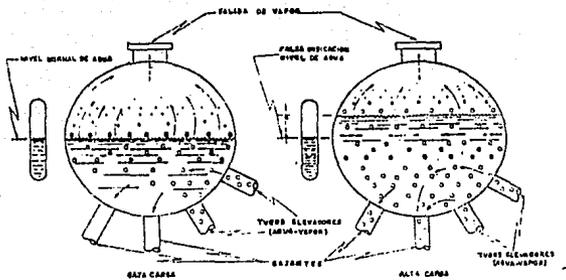


FIG. 12.-EFECTO DE LA CANTIDAD DE VAPOR PRODUCIDO EN UN DOMO SIN DISPOSITIVO DE SEPARACION

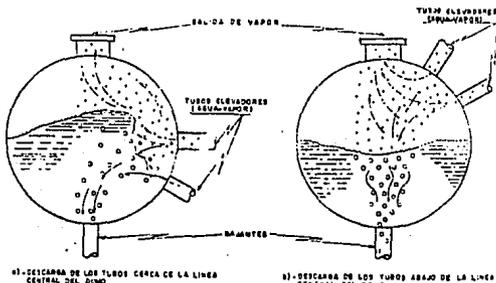


FIG. 13.- EFECTO DE LA LOCALIZACION DE LA DESCARGA DE LA MEZCLA AGUA-VAPOR EN UN DOMO SIN DISPOSITIVO DE SEPARACION

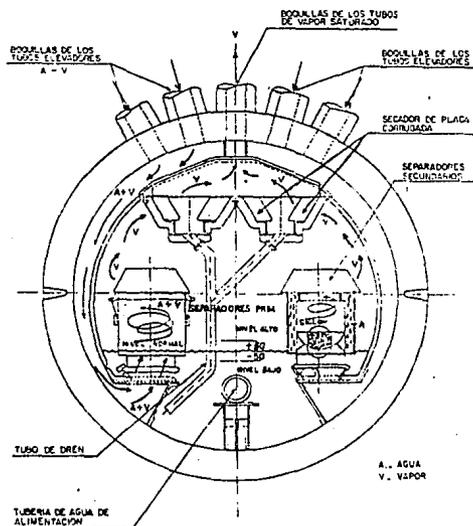


FIG. 14.- SEPARADORES DE AGUA-VAPOR EN EL DOMO

2. SOBRECALENTADOR

Continuando con los equipos de Generador de Vapor, Tenemos al "Sobrecalentador", el cuál absorbe calor de los humos producidos por la combustión en el Hogar. El Sobrecalentador recibe "vapor saturado" que sale del Domo y lo sobrecalienta, hasta la temperatura requerida por la Turbina de Vapor; convirtiéndose éste en: "vapor sobrecalentado".

El "vapor sobrecalentado" se dirige a la Turbina de Vapor, y va realizando trabajo, al mismo tiempo que va perdiendo su energía.

Si se usará el vapor saturado, que sale del Domo, para enviarlo directamente a la Turbina, sin recalentarlo, la pérdida de energía, produciría condensación, (formación de humedad) de una porción del vapor.

Está humedad es perjudicial para la Turbina, ya que acelera el desgaste de los alábes de la Turbina. El uso de "vapor sobrecalentado", permite obtener mayor trabajo y más "pasos" en la Turbina, antes de que se forme humedad en el vapor; por lo tanto, se aumenta la eficiencia.

Los Sobrecalentadores están formados por una gran cantidad de tubos, que se conectan a una cabezal de entrada y a otro de salida; además, pueden estar formados por varias secciones, conectados en serie, de tal forma, que la salida de una sección va a la entrada de otra sección posterior, es decir que la temperatura se va elevando por pasos.

A la primera sección se le llama "Sobrecalentador primario", a la segunda "Sobrecalentador secundario"; y así sucesivamente. También se le denominan: "Sobrecalentador de baja temperatura, temperatura intermedia, alta temperatura" etc.

Las secciones del Sobrecalentador, no necesariamente están adyacentes, (en el recorrido de los gases) pudiendo existir, otros equipos del Generador de Vapor, (que también son calentados por los gases) entre dos secciones del Sobrecalentador.

Dependiendo de su localización dentro del Generador de Vapor y de la forma que absorben calor, los Sobrecalentadores pueden ser:

1. RADIANTES

2. CONECTIVOS

- SOBRECALENTADORES RADIANTE

Están localizados en la parte superior del hogar y reciben el calor directamente de la flama "por radiación"; con este tipo de Sobrecalentadores, la temperatura del vapor de salida disminuye, cuando se aumenta la carga. (fig. 15)

- SOBRECALENTADORES CONECTIVOS

Están colocados en los pasajes de los gases calientes y reciben el calor de estos por convección. (en este caso, los no alcanzan a "ver" la flama del Hogar) Su comportamiento es tal, que la temperatura de salida del vapor aumenta, cuando aumenta la carga. (fig. 16)

Cuando los Sobrecalentadores se encuentran en una zona intermedia, entre los descritos anteriormente, será una combinación de ambos, es decir, un Sobrecalentador: "Radiante-Conectivo".

Entre más cercano se encuentre del Hogar, será más "radiante"; entre más se aleje del Hogar, será más "conectivo"..

Como la Turbina requiere de una temperatura constante de vapor para su operación, independiente de la carga, entonces se acostumbra a combinar los dos tipos: "Sobrecalentador: Radiante-Conectivo".

En la figura 17, el Sobrecalentador primario tiene 4 secciones conectivas y una radiante-conectiva. El Sobrecalentador secundario tiene dos secciones radiantes.

3. RECALENTADOR

El Recalentador, la siguiente sección después del Sobrecalentador, que también absorbe calor de los gases producto de la combustión.

El vapor que ya trabajó en la Turbina de alta presión, sale con menor presión y temperatura, pero puede volverse a recalentar para seguir aprovechándose en las siguientes etapas de la Turbina. (presión intermedia y baja presión)

El Recalentador recibe vapor denominado "recalentado frío", proveniente de la Turbina de alta presión y lo recalienta, convirtiéndose en vapor "recalentado caliente", requerida por las etapas restantes de la Turbina. (ver fig. 18 y 19)

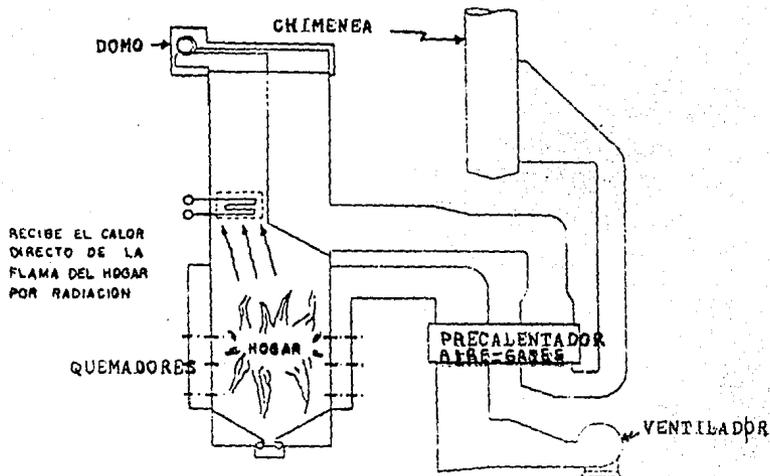


FIG. 15.- SOBRECALENTADOR RADIANTE

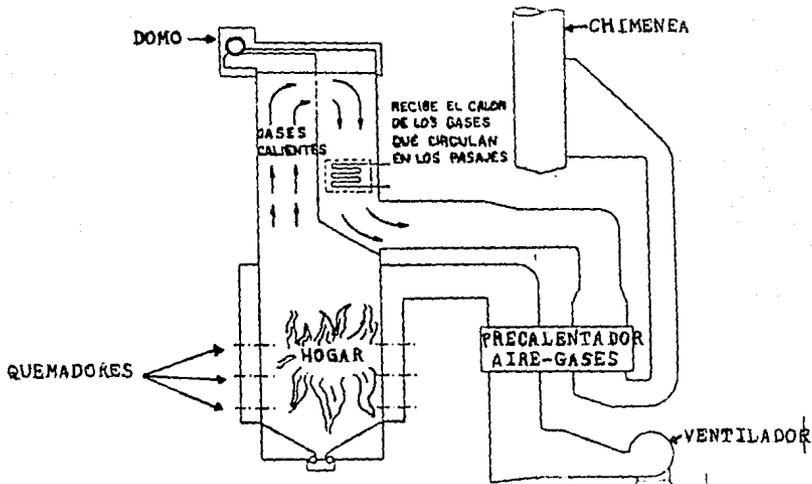


FIG. 16.- SOBRECALENTADOR CONECTIVO

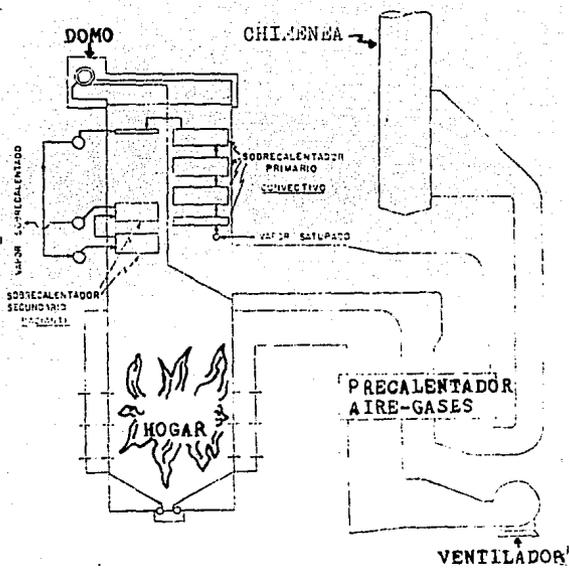


FIG. 17.- COMBINACION DE SOBRECALENTADORES RADIANTES-CONECTIVOS EN SERIE

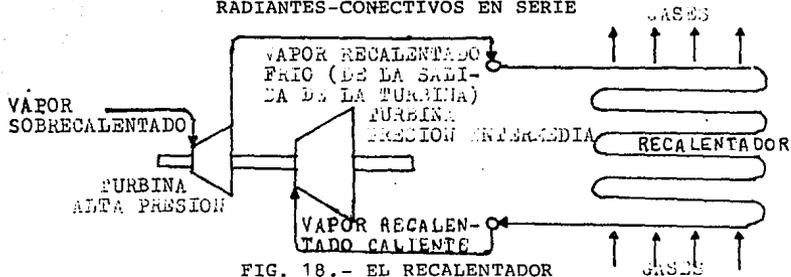


FIG. 18.- EL RECALENTADOR

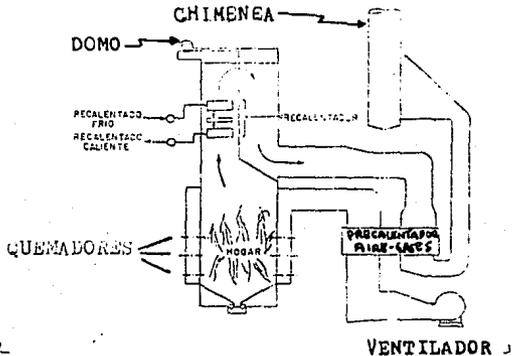


FIG. 19.- UBICACION DEL RECALENTADOR EN UN GENERADOR DE VAPOR

Las características y comportamiento del Recalentador, son semejantes a los del Sobrecalentador, con la diferencia que el Recalentador opera a una temperatura menor.

4. ECONOMIZADOR

Es otro elemento que absorbe calor en el Generador de Vapor, también aprovechando el calor de los gases, antes que escapen a la atmósfera por la chimenea.

Su función consiste en aumentar la temperatura del agua, proveniente del Sistema de Agua de Alimentación, hasta una temperatura muy cercana a la de la ebullición, (saturación) para luego ser enviada al Domo. De éste modo se ahorra combustible en el calentamiento de agua.(fig. 20)

El Economizador siempre se encuentra a la salida de los gases, después de los Sobrecalentadores y del Recalentador.(fig. 21)

Se llama Economizador por las siguientes razones:

- 1) Utiliza el calor de los gases, antes de ser desechados a la atmósfera, ya que de otra manera se tirarían sin ser aprovechados.
- 2) Se requiere menos calor para evaporar el agua en la Caldera y como consecuencia menos combustible.

5. PRECALENTADOR DE AIRE

Este es el último equipo principal del Generador de Vapor, que absorbe calor, el cuál se llama: Precalentador de Aire. (fig. 22)

La función de éstos Precalentadores de Aire, es como su nombre lo dice, aumentar la temperatura del aire que llega al Hogar para mejorar las condiciones de combustión; además que aumenta la eficiencia del Generador de Vapor.

Los Precalentadores de Aire reciben aire frío del exterior, por medio de los "Ventiladores de Tiro Inducido", y lo calientan para enviarlos al Hogar.

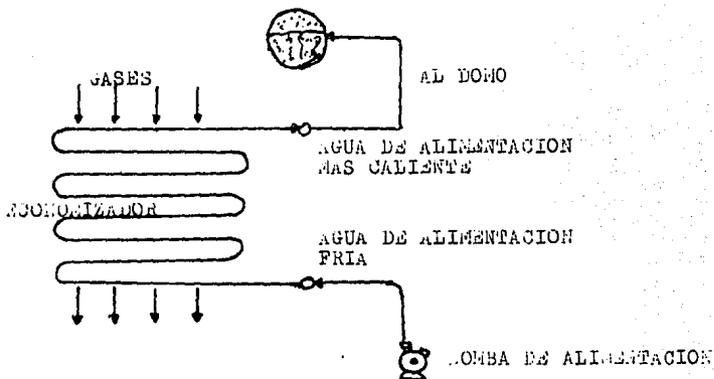


FIG. 20.- EL ECONOMIZADOR

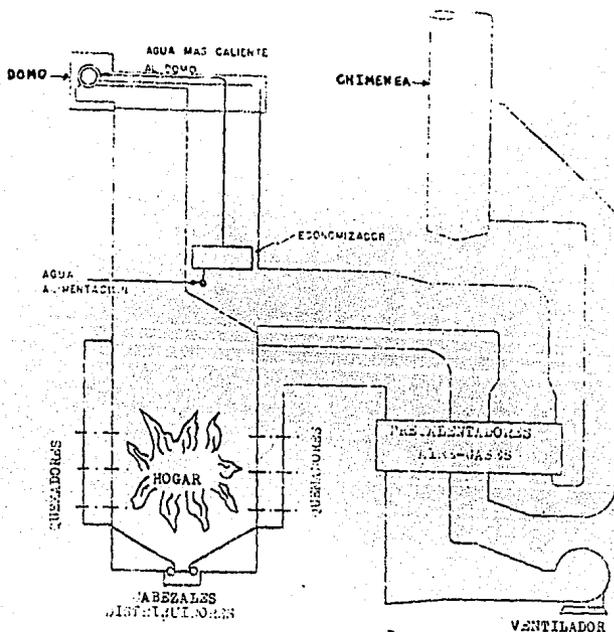


FIG. 21.-UBICACION DEL ECONOMIZADOR EN UN GENERADOR DE VAPOR

Hay dos tipo de Precalentadores de aire, los cuáles son:

PRECALENTADORES DE: AIRE-VAPOR

PRECALENTADORES DE: AIRE-GASES

PRECALENTADOR DE AIRE-VAPOR

El medio calefactor es vapor, obtenido de algunas extracciones de la Turbina, El aire se calienta con el vapor, produciendo finalmente aire caliente, el vapor que perdió energía se transforma en condensado. El aire y el vapor no se mezclan. (fig. 23 a)

PRECALENTADORES AIRE-GASES

El medio calefactor son los: gases calientes, que salen del Economizador y aún contienen energía, antes de tirar éstos gases a la atmósfera por la chimenea, pasan por el Precalentador aire-gases en donde ceden calor al aire necesario para la combustión.

Los gases que salen de éste Precalentador, están más fríos y son enviados a la chimenea. El aire y gases no se mezclan. (fig. 23 b)

En la figura 24 se acostumbra combinar los dos tipos de precalentadores para evitar corrosión.

Ahora según la forma en que se realiza la transferencia de calor, los Precalentadores de aire pueden ser:

RECUPERATIVOS

REGENERATIVOS

PRECALENTADORES RECUPERATIVOS

El calor se transfiere directamente (de los gases calientes ó del vapor) en un lado de una superficie, y en el otro lado al aire.

De éste tipo de Precalentadores existen dos tipos:

a) Precalentadores de aire-vapor tipo recuperativo.- Está formado por un conjunto de tubos horizontales con aletas: en el interior circula vapor que cede calor al aire. El conjunto se instala en un ducto de aire del Generador de Vapor. (fig. 25)

b) Precalentadores de aire-gases tipo recuperativo.- Formado por un conjunto de tubos, por cuyo interior circulan los gases calientes. El aire circula por el exterior de los tubos. (fig. 26)

PRECALENTADORES REGENERATIVOS

El calor se transfiere indirectamente (de los gases calientes) al aire, a través de un elemento intermedio almacenador de calor.

También de éste tipo de Precalentadores se divide en dos:

Precalentador aire-gases tipo regenerativo.- Está formado por un tambor conteniendo paquetes de laminillas, (llamadas canastas) que son los elementos almacenadores de calor.

Las corrientes de los gases pasan por las canastas y las calienta, como el tambor está girando continuamente por medio mecánicos, las canastas calientes llegan a una corriente de aire frío y le ceden calor, aumentando la temperatura del aire. (fig. 27)

En la figura 28 se muestra en forma general, la ubicación general de los Precalentadores de aire en un Generador de Vapor.

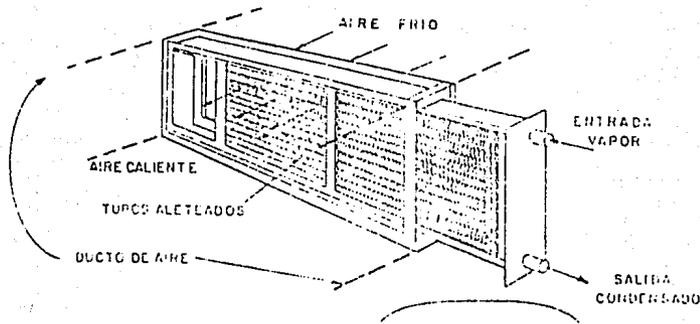
II.1.5.- VENTILADORES Y TIROS

Como se menciona anteriormente en un Generador de Vapor se requiere:

1ero. Un flujo de aire para producir la combustión en el Hogar; y

2do. Los gases producto de la combustión, circulen por los pasajes y ductos del Generador de Vapor.

Para producir flujos y obligar a los gases a desecharse se necesita de: ventiladores y tiros, que a continuación se explicarán.

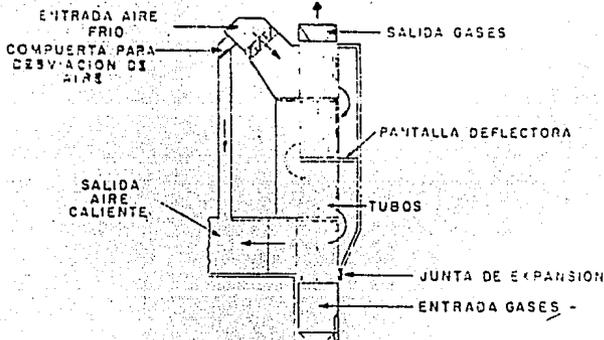


EL AIRE ES CALENTADO POR VAPOR

TRANSMISION DIRECTA DEL CALOR

EL AIRE ES CALENTADO POR VAPOR

FIG. 25.- PRECALENTADOR DE AIRE-VAPOR TIPO RECUPERATIVO



EL AIRE ES CALENTADO POR LOS GASES

TRANSMISION DIRECTA DEL CALOR

FIG. 26.- PRECALENTADOR AIRE-GASES TIPO RECUPERATIVO

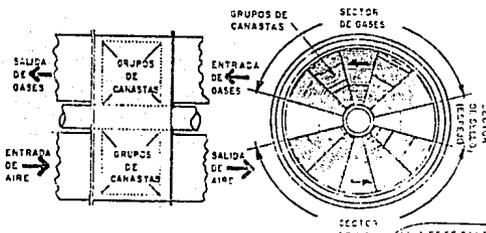
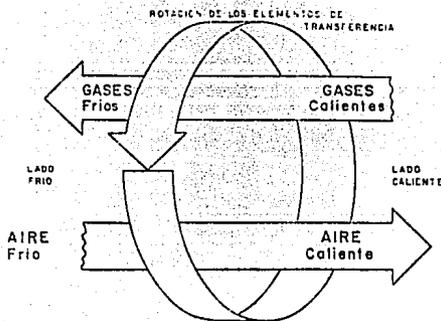


FIG. 27.- PRECALENTADOR AIRE-GASES

REGENERATIVO

EL AIRE ES CALENTADO POR LOS GASES

TRANSMISION INDIRECTA DEL CALOR

a) PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE TRANSF.

b) FORMA DE FUNCIONAMIENTO

FIG. 27.- PRECALENTADORES DE AIRE-GASES REGENERATIVO

VENTILADORES

El Ventilador, es una máquina que mueve grandes cantidades de aire o gases de un lugar a otro; para lograrlo, proporciona la suficiente energía para vencer la resistencia al flujo.

Físicamente, un ventilador es esencialmente un motor el cuál se le acopla a las aspas en la flecha de éste y una carcaza que envuelve a las mismas y dirige el aire ó los gases descargados por el impulsor.

Por la forma en que se manejan los fluidos, los ventiladores pueden ser de dos tipos:

- RADIALES (centrífugos)

- AXIALES

VENTILADOR RADIAL

Es muy semejante a una bomba centrífuga, el aire o gas se mueven radialmente hacia el exterior de las aspas y en una carcaza que rodea al impulsor, en forma de caracol. (fig. 29)

- VENTILADOR AXIAL

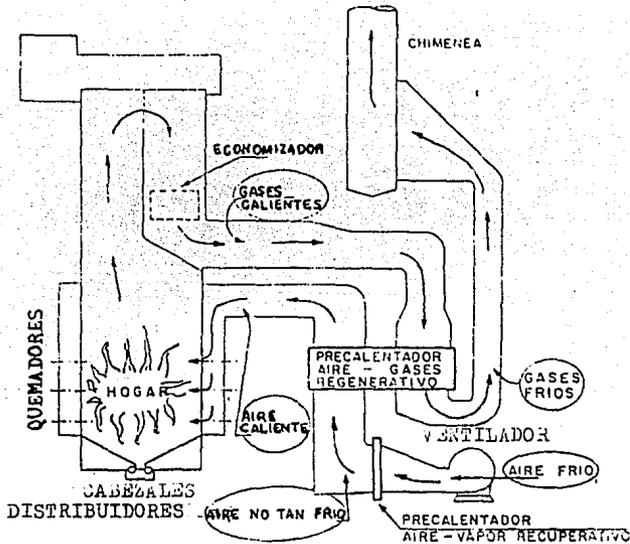
El aire o gases se mueven en forma paralela al eje de giro del ventilador. (fig. 30)

TIRO

Es un término usado comunmente para referirse a la presión estática en el Hogar, en un ducto de aire, o pasaje de gases.

El término TIRO aplicado a Generadores de Vapor, se refiere a la forma en que se logra la circulación del aire y los gases. En la figura 31 se presentan las diferentes formas de "Tiro" de un Generador de Vapor.

(En la figura 32 se presenta todo el equipo descrito en éste inciso II.1)



3 FIG. 28.- EJEMPLOS DE PRECALENTADORES DE AIRE EN UN GENERADOR DE VAPOR

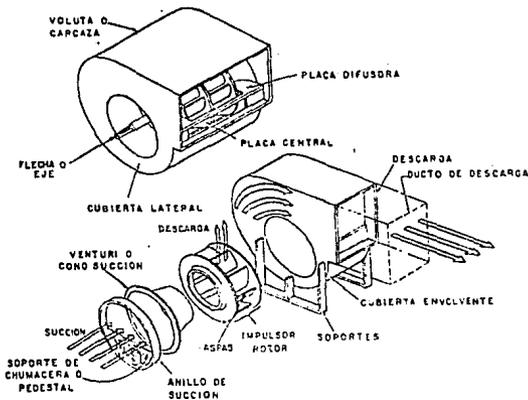


FIG. 29.- VENTILADOR CENTRIFUGO

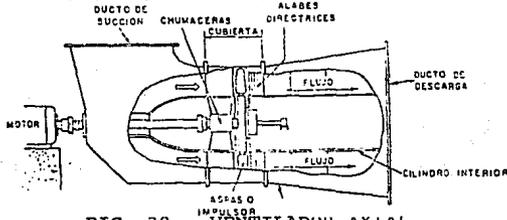


FIG. 30.- VENTILADOR AXIAL

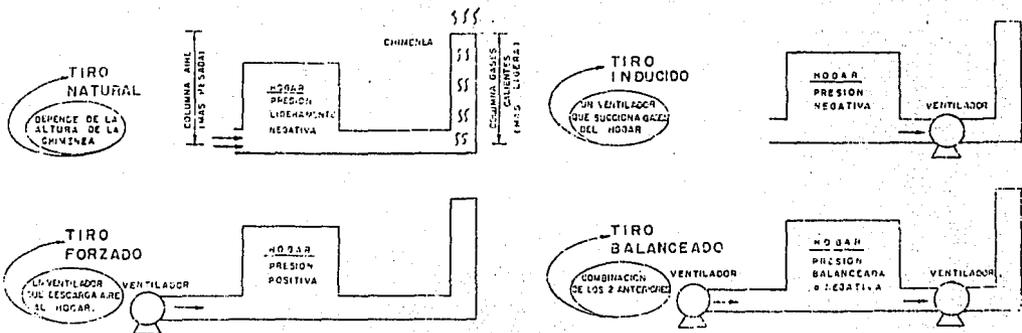


FIG. 31.- FORMAS DE TIRO EN UN GENERADOR DE VAPOR

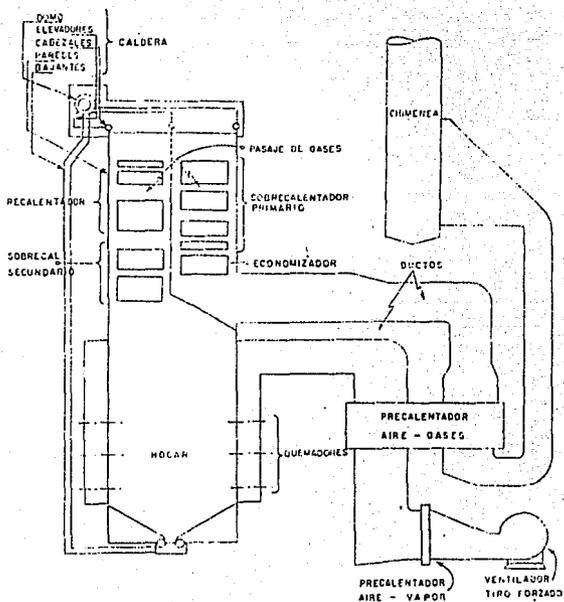


FIG. 32.- UBICACION DE TODOS LOS COMPONENTES EN UN GENERADOR DE VAPOR

II.2.- TURBINA DE VAPOR

II.2.1.- CARACTERISTICAS GENERALES

Una TURBINA de Vapor es una máquina, que convierte la energía del vapor, (energía térmica) producida por el Generador de Vapor, en trabajo mecánico.

En una Central Térmoelectrica, éste trabajo se emplea para mover al Generador Eléctrico, transformandolo en: energía eléctrica.

La Turbina de Vapor es la más simple, más efectiva, más eficiente y completa de las máquinas que usan vapor; comparada con otras máquinas, tiene las siguientes ventajas:

- a) Ocupa poco espacio
- b) Es ligera de peso (si se compara con otros equipos principales)
- c) Es bastante eficiente (ya que puede tener varias secciones donde el vapor es extraído para ser usado, ya sea en otras secciones de la Turbina o en el Generador de Vapor)

II.2.2.- PRINCIPIOS DE OPERACION

La Turbina está constituido de elementos llamados: "toberas", que tienen la función de expansionar el volumen del vapor, así como la de aumentar su velocidad. (fig. 33)

Principio de Acción ó Impulso

La "tobera" se encuentra fija y el chorro de vapor entra en ella y despues se dirige en contra de una paleta, que está sobre la rueda movil, la fuerza del chorro actua sobre la paleta y la impulsa produciendo el movimiento en la rueda (fig. 34 a)

Principio de Reacción

La "tobera" se encuentra montada en la rueda, y puede moverse libremente; la alta velocidad del vapor que sale de la tobera, provoca una reacción en la tobera, haciendo que la rueda se mueva en sentido en sentido opuesto al chorro del vapor. (fig. 34 b)

Por lo tanto, el vapor cuando adquiere alta velocidad, en una "tobera", puede ser aprovechado para mover una rueda.

En los dos casos, la energía térmica del vapor (presión y temperatura) se convirtió en trabajo mecánico en la rueda.

II.2.3.- PARTES PRINCIPALES DE UNA TURBINA

En la figura 35 se presenta todos los componentes de una Turbina

a) ROTOR.- Parte móvil de la Turbina, que lleva montadas las ruedas; estas ruedas están constituidas por paletas y/o toberas móviles. (las paletas y las toberas móviles, se conocen como: álabes)

b) TOBERAS FIJAS.- Transforman la presión del vapor en velocidad.

c) CARCAZA.- Cubierta o envolvente de la Turbina, además aquí es donde se montan las: "toberas fijas". (fig. 36)

d) TOBERAS MOVILES. (fig. 37)

II.2.4.- CLASIFICACION DE LAS TURBINAS

Las Turbinas se clasifican de muchas maneras, a continuación se describe algunas de ellas:

ACCION (IMPULSO)

a) Según su principio de operación REACCION
(FIG. 38)

COMBINADAS (ACCION Y DE REACCION)

Nota: Los dos tipos de álabes tienen toberas fijas y toberas móviles, pero la diferencia radica en la forma de los "álabes móviles". (forma de paleta ó forma de tobera)

FRESION ALTA
VELOCIDAD BAJA

PRESION BAJA
VELOCIDAD ALTA

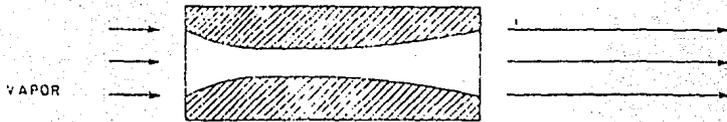


FIG. 33.- TOBERA

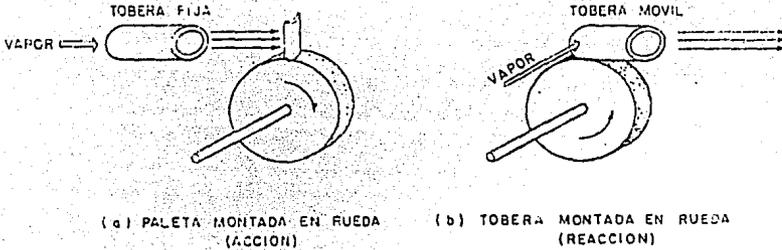


FIG. 34.- VAPOR MOVIENDO UNA RUEDA

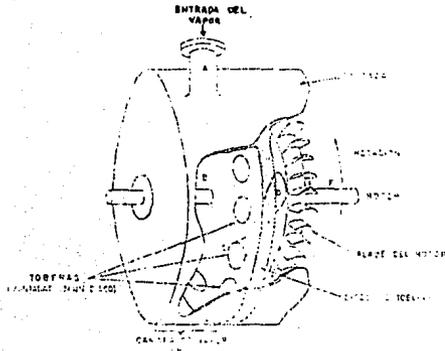


FIG. 35.- PARTES PRINCIPALES DE UNA TURBINA
(FLUJO DE VAPOR A-B-C-D-E-F)

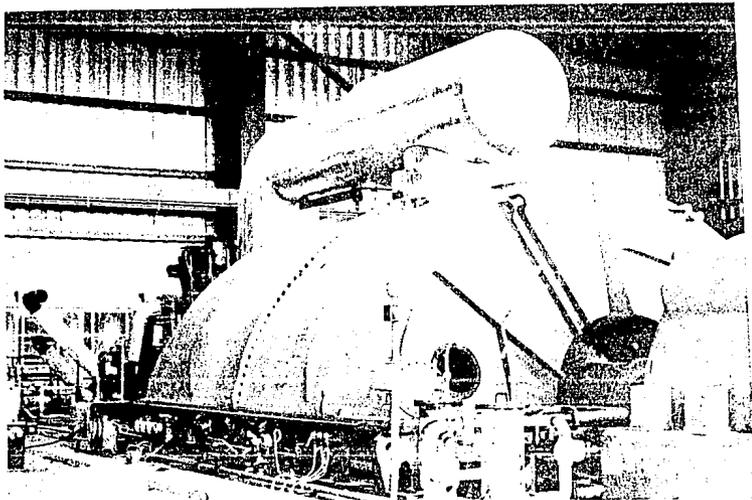


FIG. 36.- CARCAZA DE LA TURBINA DE BAJA PRESION
(C. T. PETACALCO)

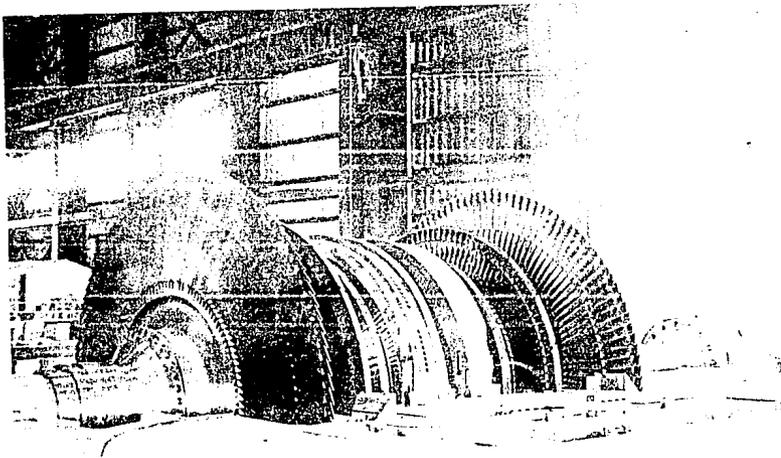


FIG. 37.- TURBINA DE BAJA PRESION SIN CARCAZA
(OBSERVESE LOS DIFERENTES DISCOS "PASOS" FORMADOS POR ALABES)

Las Turbinas de Acción y de Reacción, (Combinadas) pueden estar formadas por varios pasos ó etapas. El vapor que sale de una rueda de álabes, pasa a otra y así sucesivamente, entonces se les llama: "Turbina de etapas múltiples". Las Turbinas Combinadas, como su nombre lo indica, están formadas por ruedas de dos tipos, las primeras ruedas son de: acción y las últimas son de reacción.

SIN RECALENTAMIENTO

b) Según la existencia de más de una Turbina
(fig. 39)

CON RECALENTAMIENTO

El recalentamiento permite seguir aprovechando, el vapor en otras etapas de la Turbina, como sucede en la Turbina de la C.T. Petacalco. Este vapor se extrae de la Turbina de alta presión, se dirige al "Recalentador" del Generador de Vapor, y regresa a la Turbina de presión intermedia.

CON EXTRACCIONES

c) Según la utilización del vapor
(fig. 40)

SIN EXTRACCIONES

Si la Turbina cuenta con extracciones, entonces se extraén pequeñas cantidades de vapor, en el recorrido interno de una Turbina, de varias etapas; el vapor se aprovecha en otros procesos. (calentadores de agua, de aire, etc.) Estas extracciones aumentan la eficiencia de la Turbina y del Generador de Vapor.

La presión de vapor de las extracciones, así como de la temperatura, van disminuyendo según el vapor vaya avanzando en las etapas de la Turbina.

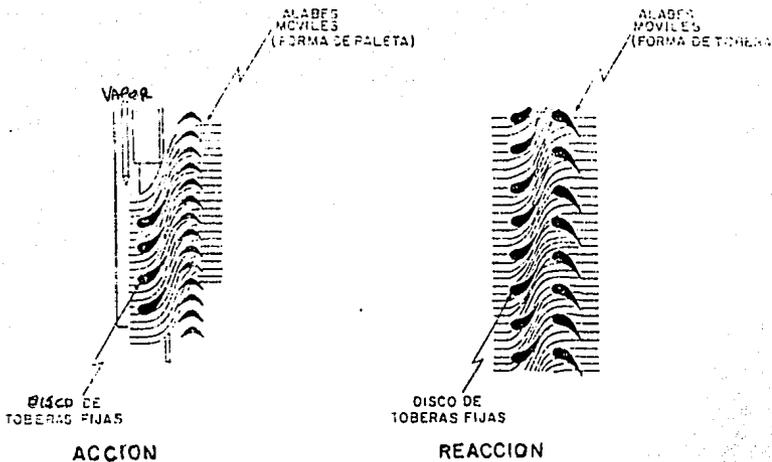


FIG. 38.- FORMA DE LOS ALABES DE LAS TURBINAS SEGUN SU PRINCIPIO DE OPERACION

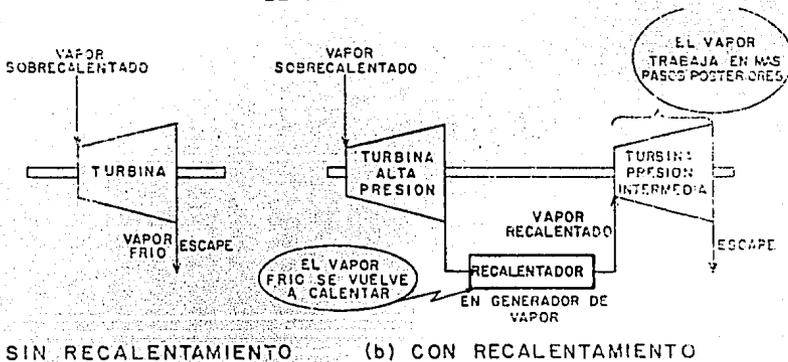


FIG. 39.- RECALENTAMIENTO DE VAPOR PARA LA TURBINA

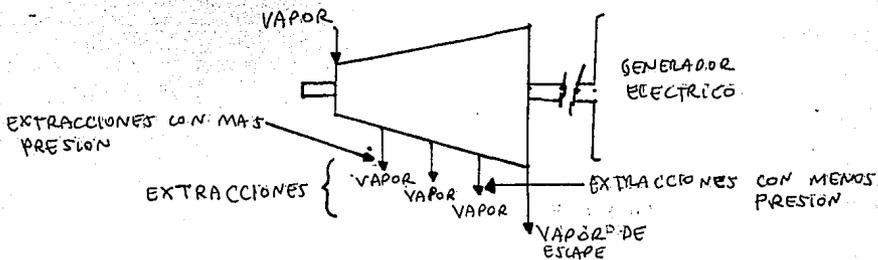


FIG. 40.- TURBINA CON EXTRACCIONES

d) Según el uso que se le da al vapor en la Turbina de baja presión

SIN CONDENSACION

El vapor que ya perdió gran parte de su energía térmica, y no se recomienda seguir utilizando en la Turbina, se manda al: "Condensador", que se encuentra en la parte inferior de la Turbina de baja presión.

TANDEM COMPOUND

e) Según el número de flechas de la Turbina
(fig. 41)

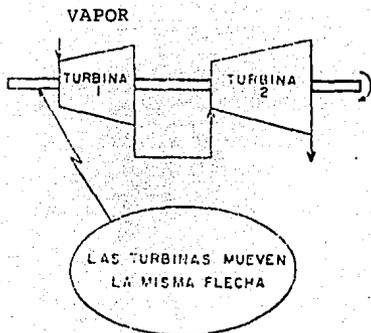
CROSS COMPOUND

Turbinas Compuestas (Tandem Compound)

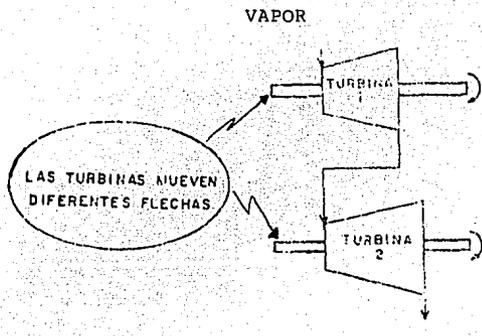
Los tipos de Turbinas anteriores, pueden agruparse en diferentes formas, de tal manera que cuando el vapor sale de una Turbina, (Turbina de alta presión, Turbina de presión intermedia y Turbina de baja presión) entra a otra y así sucesivamente.

Entonces cada Turbina será un componente (de un grupo y se dice que forma una Turbina Compuesta. (COMPOUND) El nombre de "TANDEM", significa que una misma flecha mueve a todo el grupo de Turbinas. (esté tipo de Turbinas son las utilizadas por CFE; ver fig. 41 a)

Las Turbinas: " Cross Compound" significa que diferentes flechas mueven diferentes Turbinas. (fig. 41 b)



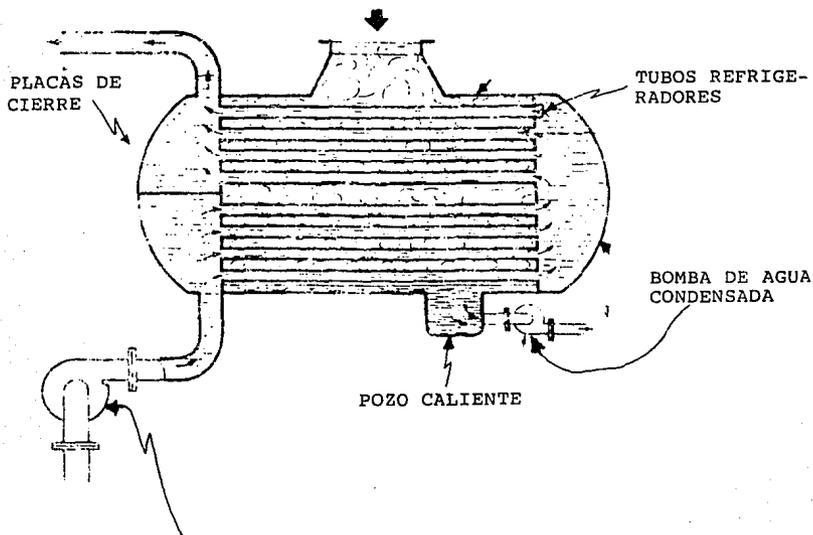
a) TANDEM-COMPOUND



b) CROSS-COMPOUND

FIG. 41.- TURBINAS COMPUESTAS

ENTRADA DEL VAPOR DE ESCAPE
DE LA TURBINA DE BAJA PRESION



BOMBAS DE AGUA DE CIRCULACION

FIG. 42.- PARTES PRINCIPALES DE UN CONDENSADOR

II.3.- EL CONDENSADOR

II.3.1.- CARACTERISTICAS GENERALES

El vapor que sale de la Turbina de baja presión, dependiendo de su diseño, (Turbina con ó sin CONDENSADOR) puede seguir dos caminos diferentes:

1. Usarse para otros procesos. (Turbina sin CONDENSADOR)
2. "Condensarse". (Turbina con CONDENSADOR)

En el caso de las Centrales Termoeléctricas de CFE, las Turbinas cuentan con Condensador, lo que permite aprovechar más energía y recuperar agua para alimentar de nuevo al Generador de Vapor.

Al vapor que sale de la Turbina de baja presión se le llama: vapor de escape; al llegar al Condensador, éste se "condensa". (fig. 42)

El Condensador es una gran cámara que se encuentra en la parte inferior de la Turbina de baja presión; ésta cámara es atravesada por miles de tubos, y por el interior de los tubos, circula agua necesaria para el enfriamiento del vapor.

El agua de enfriamiento se conoce como: "Agua de Circulación"; y ésta es proporcionada por algún río, laguna, mar, o de las "torres de enfriamiento".

El vapor al hacer contacto con los tubos frios se condensa, formandose gotas que se precipitan a la parte inferior del Condensador.

Una vez que el "Agua de Circulación", atravieza el Condensador, sale con mayor temperatura, y es desechada.

En las Centrales Termoeléctricas, se utilizan básicamente dos tipos de Condensadores:

- a) Condensadores de Superficie
- b) Condensadores de Mezcla (chorro)

Pero cuando las Centrales son de gran capacidad, por las presiones y temperaturas como las que cuenta CFE, se utilizan únicamente las primeras.

II.3.2.- CONDENSADOR DE SUPERFICIE

El Condensador de Superficie, proporcionan un elevado grado de vacío, con un pequeño consumo de energía, obteniéndose un producto de condensado de mucha pureza, ya que no hay mezcla ni contacto directo entre: el vapor de escape y el agua de alimentación.

En la figura se presenta esquemáticamente un Condensador de Superficie, aquí el "vapor de escape" llega por la parte superior del Condensador, ya que se encuentra en la parte inferior de la Turbina; una vez estando este en el interior, toca miles de tubos que atraviezan al Condensador, en los cuales en su interior pasa el Agua de Circulación. Los frentes del Condensador están cerrados por placas de cierre las cuáles limitan la cámara de vapor.

Una vez el "vapor de escape" ya condensado, se convierte en Agua de Condensado, que llega a la parte inferior del Condensador que recibe el nombre de: POZO CALIENTE. (fig. 42)

II.3.2.- CONDENSADORES DE MEZCLA (CHORRO)

En los "Condensadores de Mezcla", denominados también: Condensadores de Chorro, el proceso de condensación es el siguiente: el vapor procedente de la Turbina pasa a un Condensador, en el cuál se mezcla con el Agua de Circulación, que entra dentro de él ó entra dividida en finos chorros.

El vapor que se ha de condensar y el Agua de Circulación, circulan a contracorriente; y al mezclarse se extrae mediante una bomba. Otra bomba se encarga de sacar el aire del interior del Condensador, con el objeto de conseguir el mayor grado de vacío posible.

Si el "Agua de Condensado", ha de utilizarse para la alimentación del Generador de Vapor, entonces hay que someter ésta agua a un proceso de purificación, ya que puede contener materias corrosivas e incrustaciones, así como materias sólidas ó gaseosas.

II.4.- SISTEMA DE CONDENSADO

El agua resultante en el Condensador, producto de la condensación del "vapor de escape" de la Turbina, se envía nuevamente al Generador de Vapor, a través de dos sistemas, el primero de los cuáles es el "Sistema de Condensado"; del otro se hablará en la siguiente inciso.

La función del "Sistema de Condensado" es: extraer el agua del Condensador, y hacerla pasar por una serie de equipos que le aumentan gradualmente su temperatura hasta llegar al "DEAREADOR".

El aumento de temperatura del "Agua de Condensado" tiene la finalidad de que llegue menos fría al Generador de Vapor y por lo tanto utilice menos combustible para calentar agua. (fig. 43)

El "Sistema de Condensado" cuenta con el siguiente equipo:

- a) **CONDENSADOR.-** Se describió en el inciso anterior.
- b) **POZO CALIENTE.-** Se denomina así, a la parte inferior del Condensador en donde se colecta el condensado.
- c) **BOMBAS DE CONDENSADO.-** Extraen agua del POZO CALIENTE, y proporcionan la presión necesaria para que el agua pase por los calentadores y llegue al "Deareador" (Desgasificador). Estas bombas son de presión baja comparadas con las bombas de "Agua de Alimentación".
- d) **PULIDORES DE CONDENSADO.-** Su función es la de eliminar al máximo los arrastres de fierro y acero desprendido por el Generador de Vapor y/o Turbina, aumentando así la disponibilidad y confiabilidad del Generador de Vapor.
- e) **CALENTADORES DE BAJA PRESION.-** Son equipos que tiene la finalidad de aumentar la temperatura del agua del "Sistema de Condensado". El medio calefactor de estos calentadores, son la extracciones de vapor de la Turbina de baja presión.

El agua que se encuentra en el "pozo caliente" es extraída por medio de las "bombas de Condensado" y llegan hasta los calentadores en donde el vapor de las extracciones y el agua no se mezclan, por lo tanto estos calentadores se le denominan de "superficie". (fig. 44)

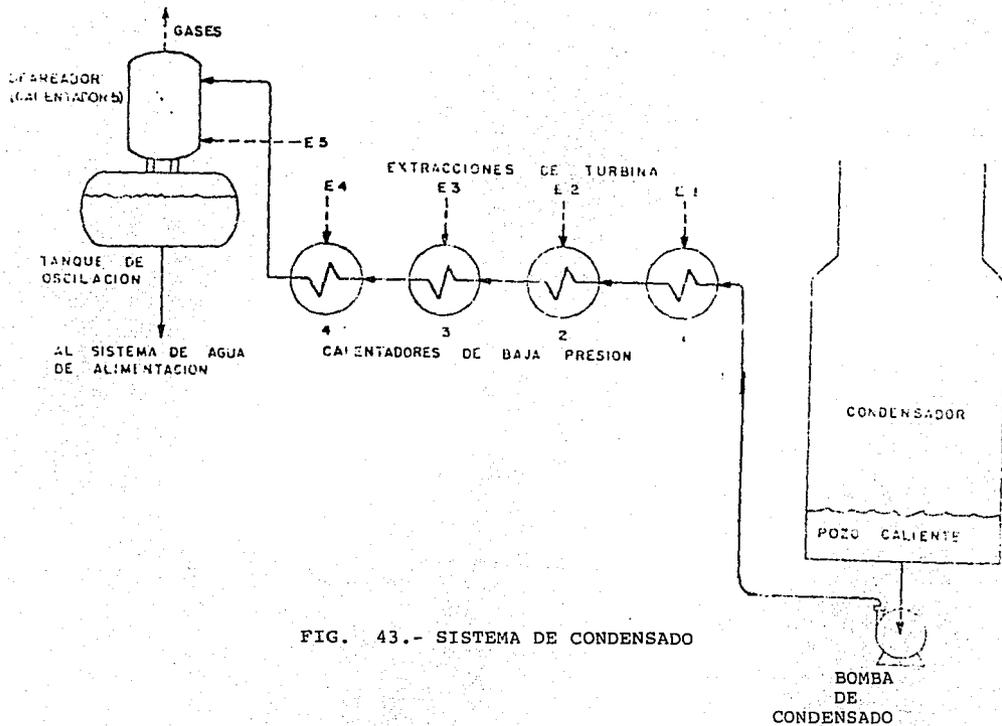


FIG. 43.- SISTEMA DE CONDENSADO

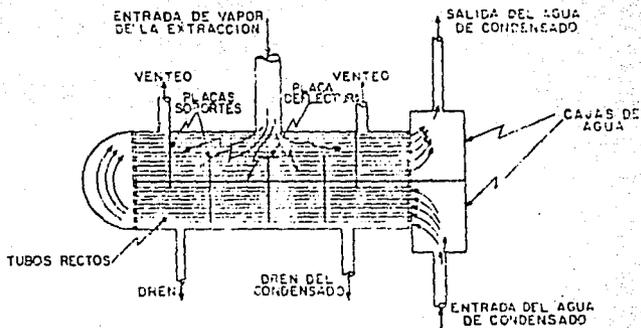


FIG. 44.- DESCRIPCION DEL CALENTADOR DE BAJA PRESION (horizontal)

II.5.- SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACION

Como se menciono anteriormente el agua que retorna al Generador de Vapor, se maneja por dos sistemas: "El Sistema de Condensado" (ya explicado en el inciso anterior) y el Sistema de Agua de Alimentacion".

La función del "Sistema de Agua de Alimentación", es como su nombre lo dice, es la de alimentar agua al Generador de Vapor, para reponer la que se convirtió en vapor y conservar un nivel constante en el Domo.

Antes de llegar ésta agua al Generador de Vapor, debe tener una presión necesariamente mayor a éste, debido a que la presión en el Generador de Vapor es bastante mayor que la atmosférica; entonces el Desgasificador y el Tanque de Almacenamiento (de agua desgasificada) se encuentra a un nivel superior, al de las "Bombas de Agua de Alimentación".

Cuando el agua llega al Deareador, (primer equipo del Sistema de Agua de Alimentación) se convierte en Agua de Alimentación. (anteriormente en "Agua de Condensado")

En el recorrido del "Agua de Alimentación" al Generador de Vapor, pasa por los calentadores de alta presión, que aumentan más la temperatura del agua, y de ahí al Economizador y el Domo. (fig. 45)

El Sistema de Agua de Alimentación cuenta con el siguiente equipo:

a) DEAREADOR (DESGASIFICADOR).- Es un equipo que cumple simultaneamente con dos funciones:

1. Calentar el agua
2. Eliminar los gases disueltos en el agua (Deareación)

Para lograrlo, está diseñado de tal manera que el agua del "Sistema de Condensado", llegue al Deareador y se fraccione en pequeñas gotas, mediante charolas y otros dispositivos; a continuación se calientan para transformarlas en vapor, separandose los gases, contenidos en el vapor, tales como: aire, oxígeno, anhídrido carbonico, etc.; éstos salen por venteo, en la parte superior del Deareador.

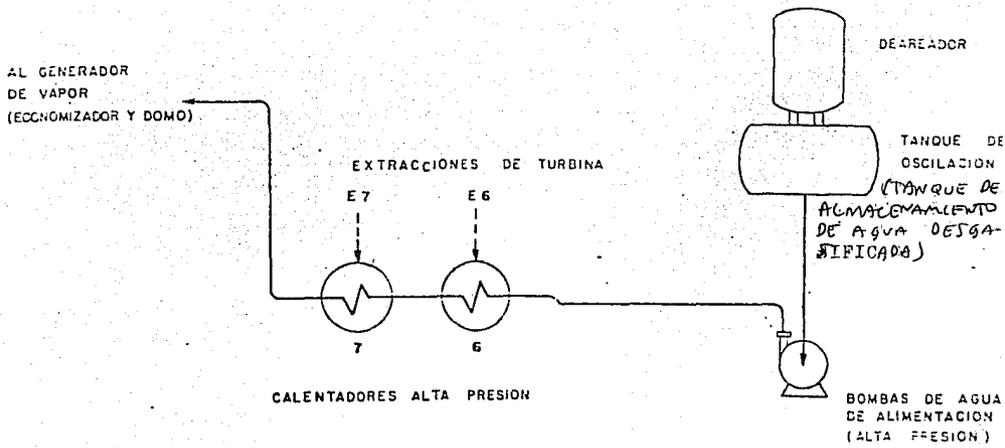


FIG. 45.- SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACION

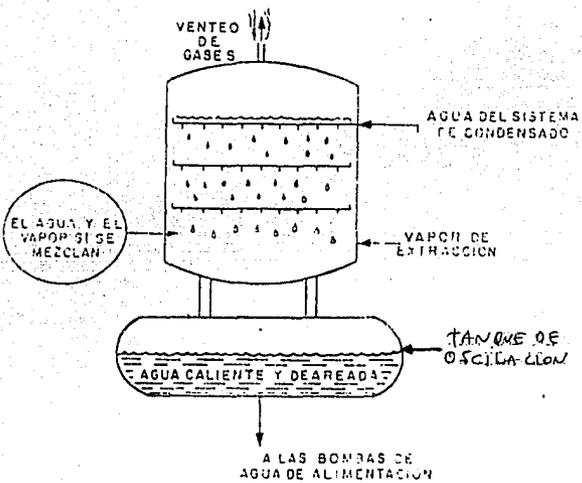


FIG. 46.- DEAREADOR O DESGASIFICADOR

Se alimenta vapor de las extracciones de la Turbina de presión intermedia, para calentar agua proveniente del calentador, si ésta agua no se Dearea, los gases disueltos producen corrosión en el Generador de Vapor.

En el momento que el vapor, tiene contacto con el "Agua de Condensado", se produce un calentamiento y por lo tanto el Deareador, es un calentador de mezcla, porque si hay contacto entre el vapor y el agua; a diferencia del descrito anteriormente, que es calentador de "superficie". (fig. 46)

Una vez que el agua ha sido "deareada", se almacena en un tanque inferior al Deareador, llamado "Tanque de Almacenamiento de Agua Desgasificada"

b) BOMBAS DE AGUA DE ALIMENTACION.- Son bombas de alta presión, para que el "agua de alimentación", circule por los calentadores de alta presión y la presión de llegada al Generador de Vapor sea mayor, que la existente en éste.

c) CALENTADORES DE ALTA PRESION.- Son semejantes a los calentadores de baja presión, pero éstos operan con presiones de agua y vapor mucho mayores; las extracciones de vapor proviene de la Turbina de alta presión.

II.6.- SISTEMA DE AGUA DE CIRCULACION

El objetivo de éste sistema, es la de suministrar agua al Condensador, pasandola a través de cientos de tubos, que al hacer contacto con el "vapor de escape", se condensa.

En función del origen del agua, el sistema puede ser: "abierto" o "cerrado".

Cuando el sistema es: abierto, el agua proviene de un río, lago, mar, etc.; cercano a la Central. (Para la C.T. Petacaico, el "Agua de Circulación", proviene del río Balsas)

Cuando el sistema es: cerrado, no existe ninguna fuente de agua cercana a la Central, y por lo tanto se utilizan "torres de enfriamiento".

El equipo en un sistema "abierto" comprende: Obra de toma, que incluye un "canal de llamada", equipos de limpieza, difusores para dosificación de reactivos químicos, bombas de agua de circulación y grua para el manejo de equipo en la obra de toma.

El equipo en un sistema "cerrado": Torre de enfriamiento, que incluye piletas y cárcamo, bombas de agua de circulación, ductos, tubos de condensado y sistema de limpieza automática de los tubos de condensado.

La velocidad en los ductos para los dos sistemas debe ser entre 1.2 y 3 m/seg., para evitar el desarrollo y la proliferación de germen.

CAPITULO III

DESCRIPCION DE LA CENTRAL TERMOELECTRICA PETACALCO

III.1.- UBICACION DE LA PRIMERA CENTRAL TERMOELECTRICA DUAL DEL PAIS

El Programa de Obras e Inversión del Sector Eléctrico, (POISE) que desarrolla la CFE, contempla, dentro de su programa de diversificación energética, la construcción de Centrales Duales; (carbón-combustóleo) en distintas regiones del país, destacando por su importancia el proyecto y la construcción de la C.T. Petacalco.

Las reservas probadas de carbón térmico, que se encuentran ubicadas en el norte de los estados de Coahuila y Tamaulipas, son insuficientes para satisfacer las demandas de los proyectos estudiados por CFE;

Por lo que algunos proyectos, como el de la C. T. Petacalco, se localizan en las cercanías ó dentro de los puertos industriales, con el objetivo de facilitar la recepción de carbón importado; el cuál será transportado desde el país de origen hasta el puerto de Lázaro Cárdenas, Mich. en embarcaciones de mediana y gran capacidad, entre 40 000 y 150 000, toneladas de peso muerto.

El usar "carbón importado", en lugar de combustóleo, en la generación de energía eléctrica, conducirá a un ahorro económico importante por kilowatt-hora producido. (anteriormente señalado en el capítulo I)

Contribuyendo además a la diversificación de las fuentes de energía, y al uso racional de las reservas nacionales de hidrocarburos.

La C.T. Petacalco, consumirá "carbón importado" como combustible base y sólo por excepción combustóleo, siendo la primera Central de su tipo que operará en México.

La construcción de la C. T. Petacalco se encuentra ubicada en las costas del estado de Guerrero, en el municipio de La Unión, Gro.; en los límites con el estado de Michoacán. (fig. 1)

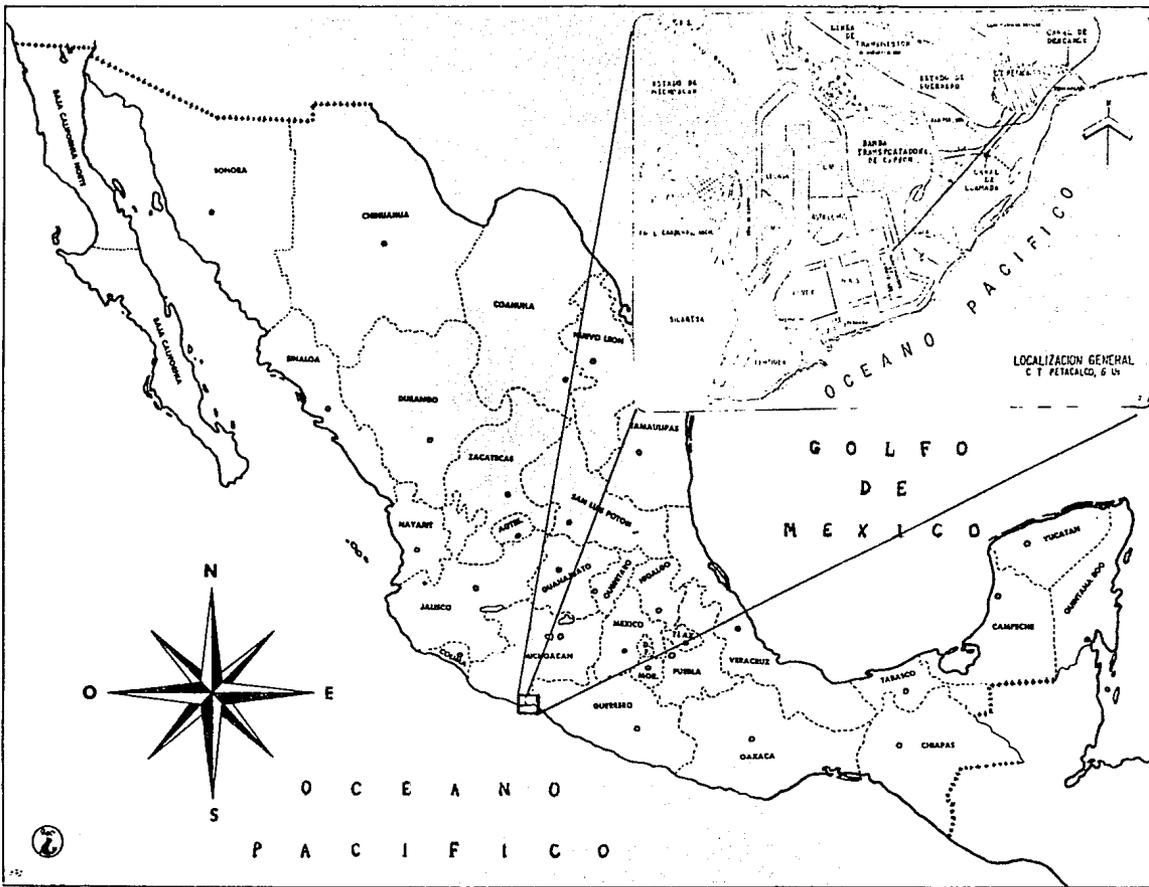


FIG. 1.- UBICACION DE LA CENTRAL TERMoeLECTRICA PETACALCO

En el estado de Michoacán se encuentra el puerto industrial de Lázaro Cárdenas, que por sus dimensiones y capacidad es uno de los más grandes del país, éste puerto fué excavado artificialmente en el área de la desembocadura del río Balsas

Dentro de éste puerto, se está construyendo: "la terminal" y "el patio de almacenamiento" para la recepción de carbón importado; y de aquí se mandará por medio de bandas transportadoras, hasta la Central, a una distancia aproximada de 10 Km.

Para el abastecimiento de carbón importado, en condiciones favorables de calidad y precio, éste se traerá de diversas partes del mundo; la CFE ha decidido considerar como posibles suministradores los siguientes puertos de origen: Hay Point, en Australia; Vancuber, en Canada y Long Beach en Estados Unidos.

III.2.- DESCRIPCION GENERAL DE LA C. T. PETACALCO

La Central Termoeléctrica Petacalco, consistirá de 6 unidades turbogeneradoras de 350 MW c/u; que están siendo contruidas en tres módulos, cada módulo consta de dos unidades turbogeneradoras y cada unidad tiene su propio Generadores de Vapor.

El primer módulo, que contiene a las unidades: 1 y 2 está totalmente terminado; el segundo módulo, (unidades 3 y 4) lleva un 80 % de avance; y por último, el tercer módulo, (unidades 5 y 6) un 30 % .

Cuando la Central éste totalmente terminada, producirá un total de 2 100 MW, lo que la ubicará en el complejo termoeléctrico más importante del país, además de la tercera Central en consumir carbón a gran escala.

Las unidades se conectarán a la subestación de 400 KV, y la transmisión se hará a través de 3 líneas conectado al Sistema Eléctrico Nacional.

Cada uno de los módulos se está construyendo de acuerdo a las normas establecidas por CFE, es decir en desarrollo modular de planta, (dos unidades por módulo) con diseño en "peninsula", (todo el equipo queda, ha excepción del Generador de Vapor y el desgasificador, dentro de la casa de máquinas) con vida útil de 30 años para los equipos básicos. (fig. 2, 3, 4 y 5)

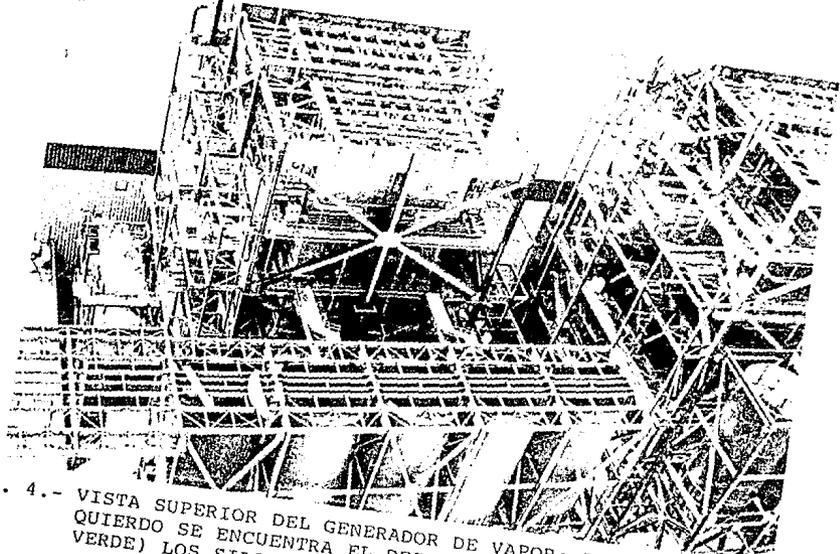


FIG. 4.- VISTA SUPERIOR DEL GENERADOR DE VAPOR; DEL LADO IZQUIERDO SE ENCUENTRA EL DESGASIFICADOR Y ATRAS (EN VERDE) LOS SILOS DE CARBON.

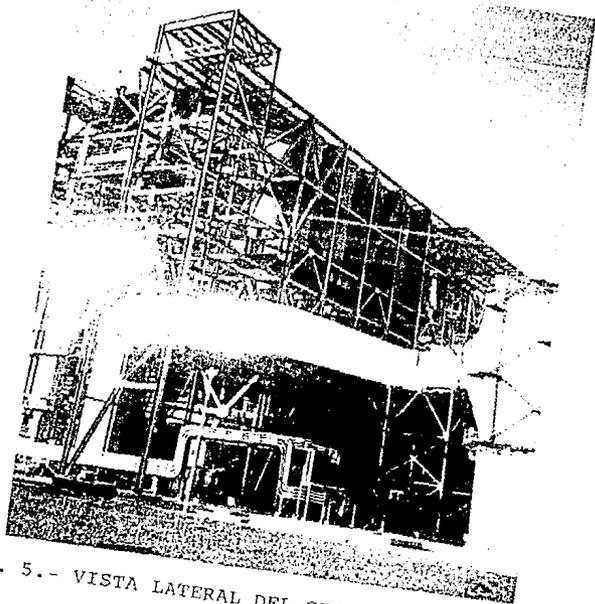


FIG. 5.- VISTA LATERAL DEL GENERADOR DE VAPOR

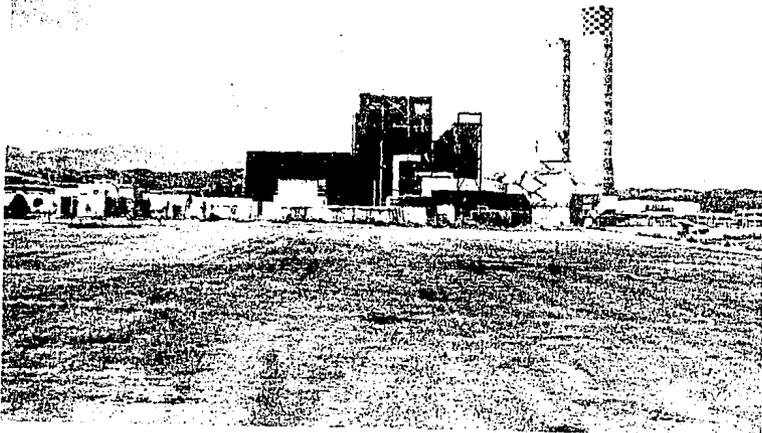


FIG. 2.- VISTA GENERAL DE LA C. T. PETACALCO; DE IZQUIERDA A DERECHA: CASA DE MAQUINAS, GENERADOR DE VAPOR, SILOS DE CARBON, PRECIPITADOR ELECTROSTATICO, CHIMENEAS Y TANQUES DE COMBUSTOLEO.

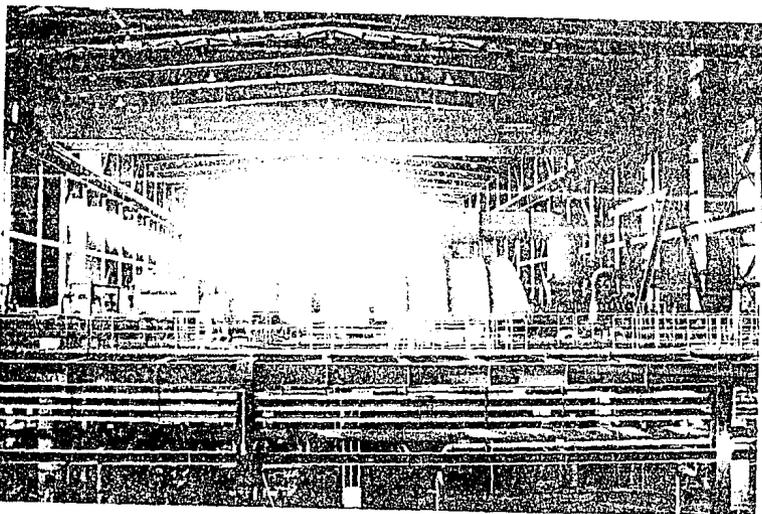


FIG. 3.- INTERIOR DE CASA DE MAQUINAS; DE IZQUIERDA A DERECHA: GENERADOR ELECTRICO, TURBINA DE VAPOR; PARTE SUPERIOR GRUA PUENTE.

Las unidades utilizarán agua del río Balsas para el enfriamiento del Condensador, (sistema abierto) así como para la producción de agua de respuesto del ciclo termodinámico. (tratada previamente)

III.3.- ARREGLO GENERAL Y DE EQUIPO DE LA C. T. PETACALCO

III.3.1.- ARREGLO GENERAL

El arreglo general de la Central consta de tres módulos, adecuando cada módulo por un paquete de dos unidades turbogeneradoras, el cuál considerando los requerimientos de la normalización por bloques de equipos y edificios, (más importantes) la Central se encuentra distribuida como sigue: (ver plano general de la Central)

- Area de subestaciones
- Area de transformadores
- Area de casa de máquinas
- Edificio eléctrico y de control
- Area de Generador de Vapor
- Area silos de carbón
- Area precipitador electrostáticos
- Area manejo de cenizas
- Estructura del desgasificador
- Edificio de compresores y generadores diesel de emergencia
- Area obra de toma
- Area canal de descarga
- Area de almacenamiento y transferencia de combustible

- Area tanque y bombas de servicio y contra incendio

- Edificio de las oficinas administrativas.

De sur a norte se encuentran localizados los 3 módulos de casa de máquinas.

Al oeste de casa de máquinas, se encuentra localizadas la subestación y los transformadores.

Al este de casa de máquinas, se localiza el cuarto de control, Generador de Vapor, estructura del desgasificador, precipitador, silos de ceniza, tanques de día, calentadores y bombas de combustible, obra de toma.

Al norte de casa de máquinas, se encuentra localizados los tanques de condensado y el canal de descarga.

Al noroeste de casa de máquinas, se encuentra localizado los tanque de almacenamiento de combustible.

Al sur de casa de máquinas, se encuentra localizado el tanque de agua de servicios y contra incendios, edificio de laboratorio químico y planta de tratamiento de agua.

III.3.2.- ARREGLO DE EQUIPO

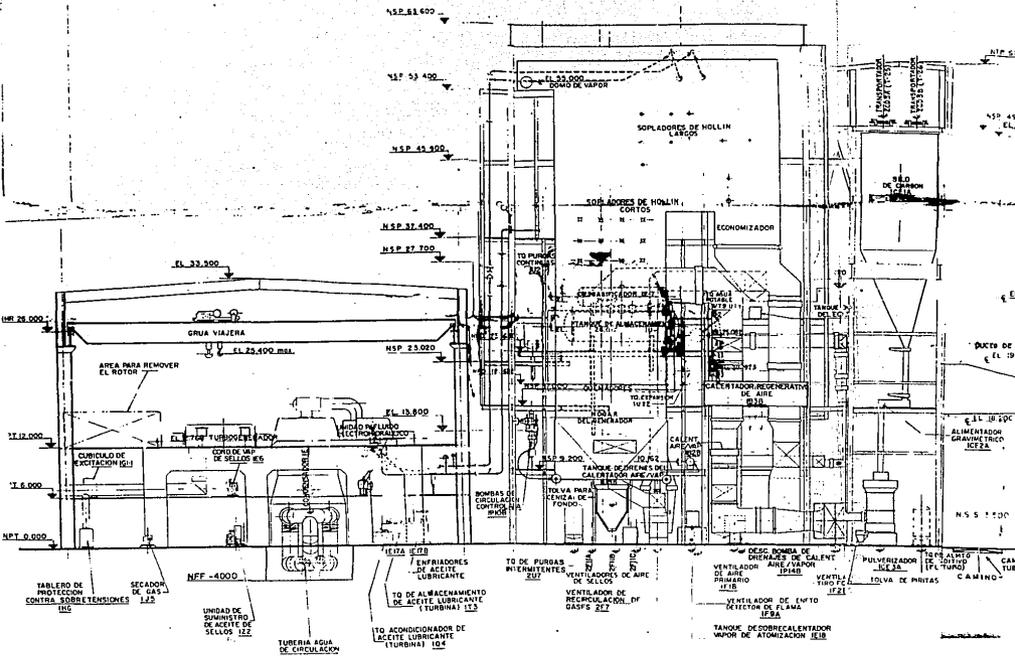
a) Arreglo de equipo de casa de máquinas

La casa de máquinas, tiene un arreglo Turbina-Generador de Vapor en "I", esto es, que la línea de centros de la Turbina (figura 6), es colineal a la línea de centros del Generador de Vapor.

Los Calentadores del ciclo térmico son todos verticales, a excepción del Calentador No. 1, que es horizontal y cuya zona de condensación se localiza en el cuello del Condensador, y un arreglo de las bombas de Agua de Alimentación, con sus líneas de centros perpendiculares a la línea de centro de la Turbina. (ver plano: corte transversal del equipo de la Central)

b) Arreglo de equipo del Generador de Vapor

El Generador de Vapor para cada unidad, está localizado de tal forma, que tenga una línea de centro común con el Turbogenerador, en la figura 7 se muestra el arreglo de equipo de planta



N.P. 81.400

N.P. 53.400

N.P. 42.900

N.P. 31.400

N.P. 27.100

EL 32.900

N.P. 26.000

N.P. 12.000

N.P. 8.000

N.P. 0.000

BARILERO DE PROTECCION CONTRA SOBRETENSIONES I12

SECADOR DE GAS I12

NFF-4000

UNIDAD DE SUMINISTRO DE ACEITE DE SELLADO I12

TUBERIA AGUA DE CEMENTACION

ENFRIADORES DE ACEITE LUBRICANTE

TO DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE LUBRICANTE (TURBINAS) I13

TO ACIONADOR DE ACEITE LUBRICANTE (TURBINAS) I12

TO DE PURBAS MIENTRANTES Z11

VENTILADORES DE AIRE PRIMARIO I12

VENTILADOR DE RECIRCULACION DE GASES Z12

DESC. BOMBA DE ORENALES DE CALENT. VENTILADOR ANULACION I12

VENTILADOR DE AIRE PRIMARIO I12

VENTILADOR DE INTYO DETECTOR DE FLUJO I12A

PULVERIZADOR DE AGUA I12

VENTIL. TIPO I12

TANQUE DE SOBRECALENTADOR VAPOR DE ATOMIZACION I12B

ALIMENTADOR GRAVITICO I12A

SOLVA DE INTIAS

CAMA TUBER CAMINO

SOPRADORES DE HOLLIN LAVADOS

SOPRADORES DE HOLLIN CORTOS

ECONOMIZADOR

TO PURBAS CONTINUA Z11

GRANULADORES

TANQUE DE ALMACENAMIENTO

VENTILADOR DE AIRE PRIMARIO I12

SECCION DE AIRE

PLATAFORMA

ESCALERA

PLATAFORMA

N.P. 57.0

N.P. 49.0

N.P. 37.0

N.P. 25.0

N.P. 13.0

N.P. 1.0

N.P. 0.0

N.P. -1.0

N.P. -2.0

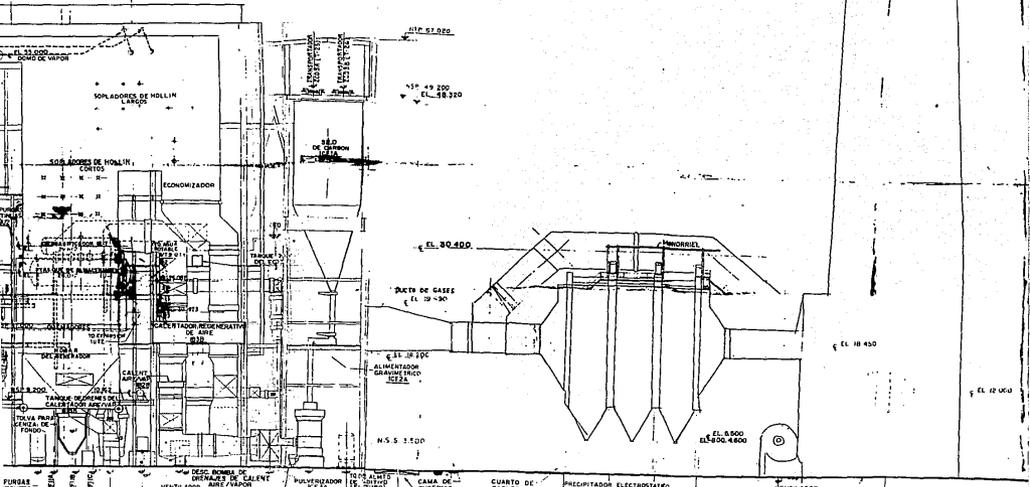
N.P. -3.0

N.P. -4.0

N.P. -5.0

N.P. -6.0

N.P. -7.0



PUNZAS
 VENTILADOR DE CALIENTE
 VENTILADOR INTERMEDIO
 VENTILADOR DE FRIO
 VENTILADOR DE HUMIDIFICACION DE VAPOR
 TAMBOR DE SEPARACION DE VAPOR

POLVERIZADOR
 TOLVA DE PIRITAS
 TOLVA DE CARBON

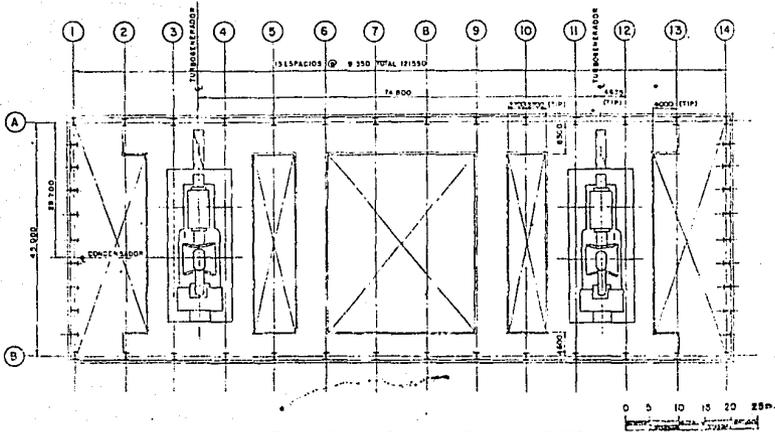
CAMARA DE TUBERIAS
 CAMINO

CUARTO DE TABLEROS
 PRECIPITADOR ELECTROSTATICO

VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO

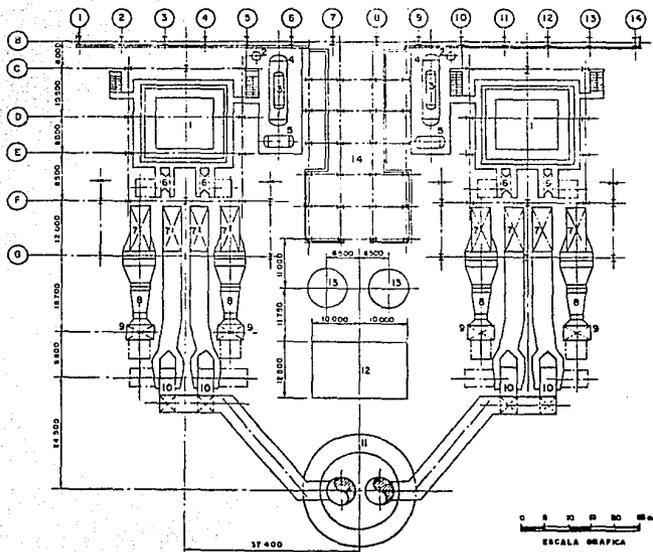
N.S.S. 1-100
 EL 19-50
 EL 20-50
 EL 10-450
 EL 12-000

P-111	ARMARIO DE EQUIPO PLANTA
PROYECTO	PROYECTO N° 1000, 80 AREA DEL 20



Casa de Máquinas: Arreglo de Equipo Piso de Operación Planta Niv. 12.000 m.

FIG. 6. - CASA DE MAQUINAS (VISTA DE PLANTA DEL TURBOGENERADOR)



LISTA DE EQUIPO

- | | | |
|---|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 1.- Generador de vapor | 5.- Tanque elevado agua de servicio | 10.- Ventilador tiro inducido |
| 2.- Tanque de purgas continuas | 6.- Ventilador recirculación de gases | 11.- Chimenea |
| 3.- Desgasificador | 7.- Precalentadores de aire | 12.- Caseta de compresores |
| 4.- Tanque de almacenamiento desgasificador | 8.- Ventilador tiro forzado | 13.- Tanques de condensado |
| | 9.- Silenciador | 14.- Edificio electrico y de control |

FIG. 7. - VISTA DE PLANTA DEL GENERADOR DE VAPOR

del Generador de Vapor, así como la localización del edificio de control y la estructura del desgasificador.

c) Desgasificador

Está montado en una estructura independiente, a la intemperie, en donde se encuentra el Generador de Vapor, y a una altura superior de las bombas de Agua de Alimentación. (fig. 4 y 7)

d) Arreglo de equipo de Areas exteriores

Este arreglo se refiere principalmente a todo el equipo que se encuentra fuera de casa de máquinas y Generador de vapor; se muestra en el plano general de la Central.

e) Arreglo de equipos de instrumentación y control

Los instrumentos de campo como son transmisores, interruptores ó medidores, están agrupados en gabinetes metálicos para protegerlos del medio ambiente y alimañas que pudieran dañarlos.

En el cuarto de control se tiene las consolas y tableros de control de ambas unidades. En la consola se encuentran las botoneras de mando de operación de quemadores, Generador de vapor, Turbina, Generador eléctrico, etc.; e indicadores de variables principales de proceso como: presión, temperatura, flujo de vapor, alarmas críticas del proceso y teclados del Sistema de Adquisición de Datos, (SAD) voltajes de línea, potencia real y reactiva entregados por el Generador Eléctrico. (fig. 8)

En el tablero de control están: las pantallas de los quemadores en el Hogar, también pantallas del SAD, indicadores de alarmas, registradores de flujo, etc.

En la parte posterior del cuarto de control se encuentran los gabinetes en donde están las tarjetas electrónicas de control lógico y analógico y alarmas. En el centro de este cuarto se localizan los mandos de todos los gabinetes de las entradas y salidas de las variables de proceso, así como la unidad de intercomunicación entre los gabinetes, unidad de control y proceso, todo esto comandado por computadoras.

f) Arreglo de equipo eléctrico (en el edificio eléctrico y de control)

Aquí se encuentran los interruptores de todos los motores (CCM) de la Central, así como los bancos de baterías, inversores, y algunos transformadores.

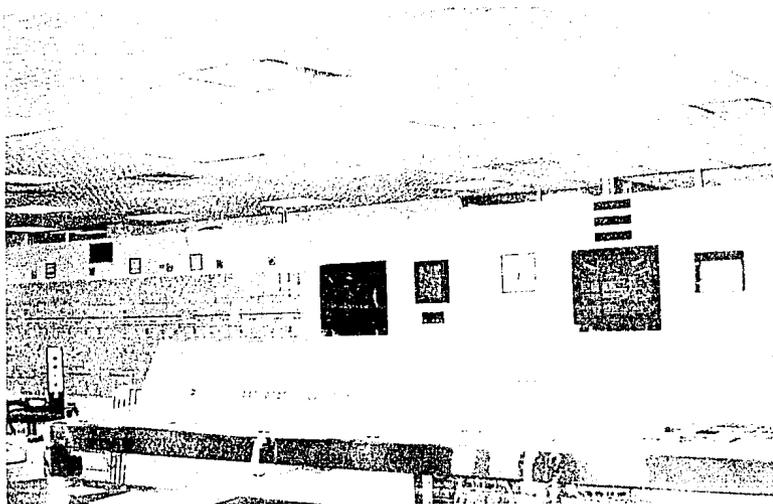


FIG. 8.- VISTA PARCIAL DEL CUARTO DE CONTROL; SALA DE MANDOS: DONDE SE UBICA LA CONSOLA Y TABLERO DE SUPERVISION DE TODAS LAS VARIABLES DE PROCESO MECANICO Y CONTROL DE LOS EQUIPOS ELECTRICOS.

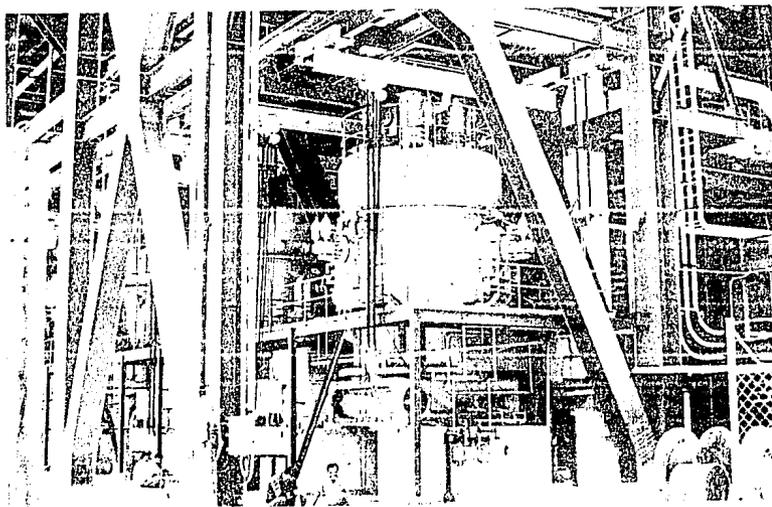


FIG. 9.- UNO DE LOS CINCO PULVERIZADORES Y ALIMENTADORES DE CARBON; SE UBICAN EXACTAMENTE ABAJO DE LOS SILOS DE CARBON

III.4.- CARACTERISTICAS DE EQUIPO Y SISTEMAS DE LA C. T. PETACALCO

I N T R O D U C C I O N

En la búsqueda de una alta eficiencia en Centrales Termoeléctricas, así como de una integración nacional del equipo, la CFE decidió el establecimiento de parametros y criterios de diseño normalizado en sus instalaciones.

Por principio estableció: Capacidad instalada por unidad de 160 y 350 MW. (para la C. T. Petacalco es de 350 MW)

Desarrollo modular de planta con diseño en península, con dos unidades por módulo y vida de 30 años para equipo básico.

La selección de presión y temperatura a la entrada a la entrada de la Turbina es de 16.55 MPa y 538 / 538 °C para unidades de 350 MW.

En este marco se evaluaron los diferentes ciclos térmicos, optándose por el denominado "Rankine", con una etapa de recalentamiento y calentamiento regenerativo, dos pasos en alta presión y 5 en baja . (ver fig. 10)

III.4.1.- SISTEMAS MECANICOS PRINCIPALES

GENERADOR DE VAPOR

El Generador de Vapor, produce vapor sobrecalentado con una presión de 17.36 MPa como máximo, a una temperatura de 541 °C y vapor recalentado a 541 °C; para el Turbogenerador con una capacidad nominal de 350 MW; la circulación en el Generador de Vapor es de tipo: "Circulación Controlada"; a continuación se dan los datos técnicos:

- 1.- Generador de vapor
- 2.- Domo colector de agua y vapor
- 3.- Sobrecalentador
- 4.- Recalentador
- 5.- Turbina alta presión
- 6.- Turbina media presión
- 7.- Turbina baja presión
- 8.- Generador eléctrico
- 9.- Condensador principal
- 10.- Bomba de condensado
- 11.- Unidades pulidoras
- 12.- Inter y postcondensador de el eytor de aire
- 13.- Condensador de vapor de sellos de turbina
- 14.- Enfriador de drenes
- 15.- Tanque de evaporación instantánea
- 16.- Calentador No. 1
- 17.- Calentador No. 2
- 18.- Calentador No. 3
- 19.- Calentador No. 4 en unidades de 350 MW
- 20.- Calentador desgasificador No. 5 (No. 4 en unidades de 160 MW)
- 21.- Bomba de alimentación
- 22.- Calentador No. 6 (No. 5 en unidades de 160 MW)
- 23.- Calentador No. 7 (No. 6 en unidades de 160 MW)
- 24.- Economizador

— Vapor principal
 - - - Vapor de extracción y secundario
 - · - · Agua de condensado y alimentación
 - · - · Drenes

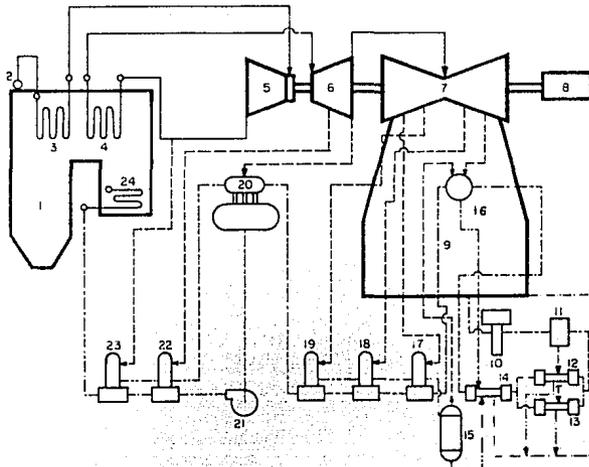


FIG. 10.- CICLO "RANKINE" REGENERATIVO. ESTE CICLO TERMODINAMICO ES UTILIZADO EN TODAS LAS INSTALACIONES DE C.F.E.; Y POR LO TANTO EN LA C. T. PETACALCO.

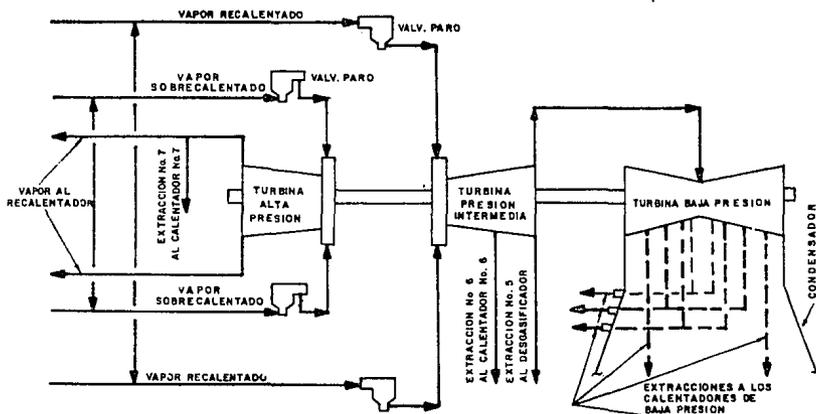


FIG. 11.- FLUJO DE VAPOR EN LAS TURBINAS.

Tipo de circulación: Circulación Controlada

Presiones de diseño:

- Domo	20 398 KPa	208 Kg/cm ²
- Sobrecalentador	20 398 KPa	208 Kg/cm ²
- Recalentador	20 398 KPa	208 Kg/cm ²
- Economizador	5 296 KPa	53 Kg/cm ²
- Paredes de agua	20 398 KPa	208 Kg/cm ²

Datos físicos (superficie de calefacción efectiva)

- Hogar		2 600 m ²
- Paso de convección		750 / 1 360 m ²
- Sobrecalentador:	primario	5 270 m ²
	secundario	1 230 m ²
	terciario	1 660 m ²
	cuaternario	1 020 m ²
- Recalentador:	primario	430 m ²
	secundario	1 700 m ²
	terciario	1 430 m ²
- Economizador		12 000 m ²
TOTAL		29 500 m²
-Superficie efectiva radiante proyectada		3 850 m ²
- Superficie de cada calentador regenerativo		15 430 m ²

- Velocidad del calentador regenerativo	1 rpm
- Superficie del precalentador aire a vapor	1 988 m ²
- Volumen del Hogar	7 200 m ³

Agua requerida para el llenado del Generador de Vapor.

- a nivel de operación	82 m ³
- para prueba hidrostática	370 m ³

Pulverizadores de carbón (fig. 9)

- Número de pulverizadores por Generador de Vapor	5
- Fabricante	Mitsubishi
- Capacidad del pulverizador	43.1 ton/hr
- Flujo de aire máximo a través del pulverizador	1 360 m ³ /min

Número de quemadores:

- para carbón	20
- para combustóleo	16
- calentamiento	4
- número de pilotos	24

Silos de carbón

- número de silos por unidad	5
- diametro	7.9 m
- altura parte recta/cono	14.12/11.75 m

- Volumen

900 m³

Sistema aire-gases

Equipo de Tiro:

a) Ventilador tiro forzado, tipo axial	2
b) Ventilador tiro inducido, tipo radial	2
- Ventilador de aire primario	2
- Ventilador recirculador de gases	1

Características de operación (al 100 % de su capacidad nominal) del Generador de Vapor.

a) Vapor

1) Flujo (ton/hr)

Vapor generado 1 083

flujo en el recalentador 954.4

2) Presiones de operación (Kg/cm²)

Domo 187

Salida del sobrecalentador
primario/secundario 185/182

Entrada del sobrecalentador
secundario/terciario 185/182

Salida del sobrecalentador
cuarto 177

Entrada del recalentador 40

Salida del recalentador 38

3) Temperatura de operación (°C)

Salida del sobrecalentador primario/secundario	398/449
---	---------

Entrada del sobrecalentador secundario/terciario	385/444
---	---------

Salida del sobrecalentador cuarto	541
--------------------------------------	-----

Entrada del recalentador	345
--------------------------	-----

Salida del recalentador	541
-------------------------	-----

b) Gases de operación

1) Flujo (ton/hr)

por el Generador de Vapor/Económizador	1 380
--	-------

Entrada a calentadores de aire secundario y primario	1 380
---	-------

Salida de calentadores de aire secundario y primario	1 480
---	-------

c) Aire

Entrada a calentador de aire secundario y primario	1 160
---	-------

Salida de calentador de aire secundario y primario	1 060
---	-------

Aire caliente a pulverizadores	133
--------------------------------	-----

2) Temperatura de operación (°C)

Entrada a calentadores de aire	35
--------------------------------	----

d) Carbón a quemadores por unidad (ton/hr)

124.22

TURBINA DE VAPOR

La Turbina de Vapor, cuenta con unidad de condensación con recalentamiento, arreglo en Tandem Compound, de dos carcazas, (Turbina de alta e intermedia presión y Turbina de baja presión) con dos flujos de escape. (ver plano de la Turbina)

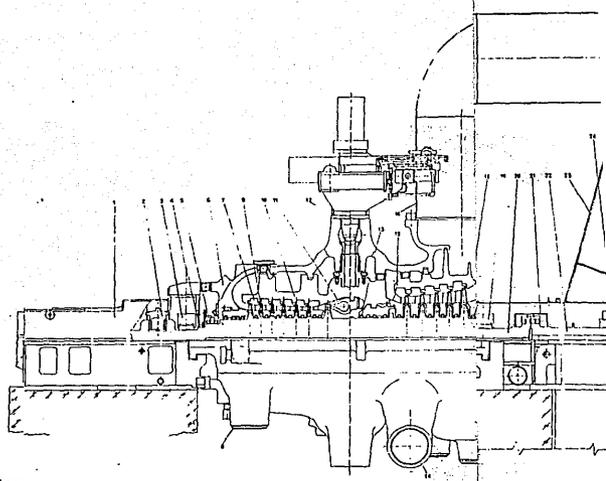
La Turbina, suministra el vapor de extracción requerido por todos los Calentadores de Agua de Alimentación, de alta y baja presión. (fig. 11)

Para unidades de 350 MW, se cuenta para el calentamiento regenerativo con siete calentadores; dos calentadores de alta presión, cuatro calentadores de baja presión y un calentador-desgasificador, también de baja presión.

Para el manejo de la Turbina, ésta cuenta con el sistema EHC, (Control Electrohidráulico de la Turbina) que consiste en un gobernador principal y uno auxiliar, (control de la velocidad desde cero hasta velocidad nominal y desde cero hasta máxima carga) un mecanismo de disparo de sobrevelocidad, alarmas de vibraciones anómalas, control para la linealidad de respuesta de la posición de las válvulas con respecto a su velocidad (aberturas de las válvulas en %). (fig. 14)

Características de diseño de la Turbina:

Fabricante	ANSALDO COMPONENTI
Potencia máxima	50 MW
Velocidad nominal	3 600 rpm
No. de etapas	18
Presión de vapor de admisión	16.55 MPa
Temperatura de vapor de admisión	538 °C

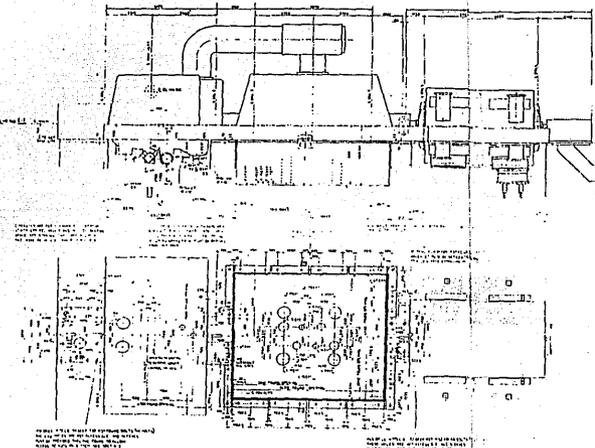
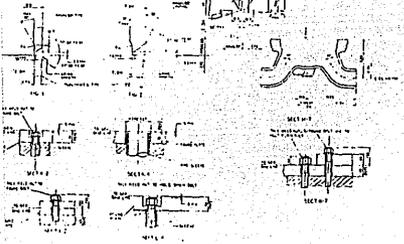


- SECCION LONGITUDINAL DE LA TURBINA
- TURBINE CROSS-SECTION

Fig. 204. 01

LISTA DE PARTES	
NO. DE PARTE	DESCRIPCION
1	...
2	...
3	...
4	...
5	...
6	...
7	...
8	...
9	...
10	...
11	...
12	...
13	...
14	...
15	...
16	...
17	...
18	...
19	...
20	...
21	...
22	...
23	...
24	...
25	...
26	...
27	...
28	...
29	...
30	...
31	...
32	...
33	...
34	...
35	...
36	...
37	...
38	...
39	...
40	...
41	...
42	...
43	...
44	...
45	...
46	...
47	...
48	...
49	...
50	...
51	...
52	...
53	...
54	...
55	...
56	...
57	...
58	...
59	...
60	...
61	...
62	...
63	...
64	...
65	...
66	...
67	...
68	...
69	...
70	...
71	...
72	...
73	...
74	...
75	...
76	...
77	...
78	...
79	...
80	...
81	...
82	...
83	...
84	...
85	...
86	...
87	...
88	...
89	...
90	...
91	...
92	...
93	...
94	...
95	...
96	...
97	...
98	...
99	...
100	...

NO. DE PARTE	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100



DESCRIPCION DE LAS PARTES DE LA TURBINA

1. CASI

2. ...

3. ...

4. ...

5. ...

6. ...

7. ...

8. ...

9. ...

10. ...

11. ...

12. ...

13. ...

14. ...

15. ...

16. ...

17. ...

18. ...

19. ...

20. ...

21. ...

22. ...

23. ...

24. ...

25. ...

26. ...

27. ...

28. ...

29. ...

30. ...

31. ...

32. ...

33. ...

34. ...

35. ...

36. ...

37. ...

38. ...

39. ...

40. ...

41. ...

42. ...

43. ...

44. ...

45. ...

46. ...

47. ...

48. ...

49. ...

50. ...

51. ...

52. ...

53. ...

54. ...

55. ...

56. ...

57. ...

58. ...

59. ...

60. ...

61. ...

62. ...

63. ...

64. ...

65. ...

66. ...

67. ...

68. ...

69. ...

70. ...

71. ...

72. ...

73. ...

74. ...

75. ...

76. ...

77. ...

78. ...

79. ...

80. ...

81. ...

82. ...

83. ...

84. ...

85. ...

86. ...

87. ...

88. ...

89. ...

90. ...

91. ...

92. ...

93. ...

94. ...

95. ...

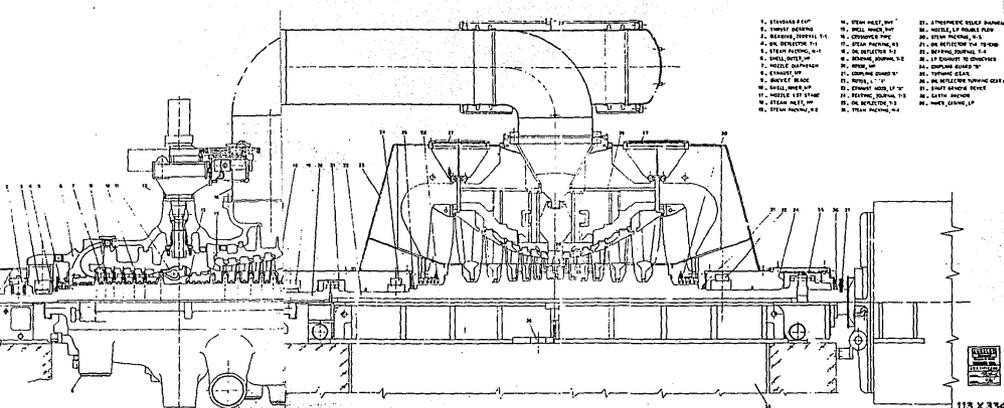
96. ...

97. ...

98. ...

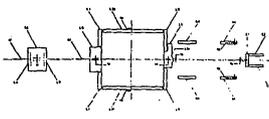
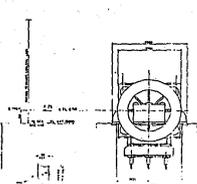
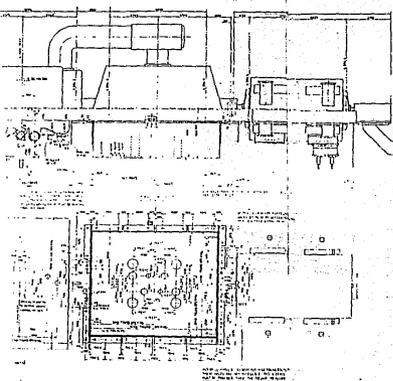
99. ...

100. ...



- 1. STATOR 2.00"
- 2. TANGENT SECTION
- 3. AIRFRAME (REF) 1.00"
- 4. ON SECTION 1.00"
- 5. STATOR 2.00"
- 6. SMALL 2.00"
- 7. TANGENT SECTION 2.00"
- 8. TANGENT SECTION 2.00"
- 9. TANGENT SECTION 2.00"
- 10. TANGENT SECTION 2.00"
- 11. TANGENT SECTION 2.00"
- 12. TANGENT SECTION 2.00"
- 13. TANGENT SECTION 2.00"
- 14. TANGENT SECTION 2.00"
- 15. TANGENT SECTION 2.00"
- 16. TANGENT SECTION 2.00"
- 17. TANGENT SECTION 2.00"
- 18. TANGENT SECTION 2.00"
- 19. TANGENT SECTION 2.00"
- 20. TANGENT SECTION 2.00"
- 21. TANGENT SECTION 2.00"
- 22. TANGENT SECTION 2.00"
- 23. TANGENT SECTION 2.00"
- 24. TANGENT SECTION 2.00"
- 25. TANGENT SECTION 2.00"
- 26. TANGENT SECTION 2.00"
- 27. TANGENT SECTION 2.00"
- 28. TANGENT SECTION 2.00"
- 29. TANGENT SECTION 2.00"
- 30. TANGENT SECTION 2.00"
- 31. TANGENT SECTION 2.00"
- 32. TANGENT SECTION 2.00"
- 33. TANGENT SECTION 2.00"
- 34. TANGENT SECTION 2.00"
- 35. TANGENT SECTION 2.00"
- 36. TANGENT SECTION 2.00"
- 37. TANGENT SECTION 2.00"
- 38. TANGENT SECTION 2.00"
- 39. TANGENT SECTION 2.00"
- 40. TANGENT SECTION 2.00"
- 41. TANGENT SECTION 2.00"
- 42. TANGENT SECTION 2.00"
- 43. TANGENT SECTION 2.00"
- 44. TANGENT SECTION 2.00"
- 45. TANGENT SECTION 2.00"
- 46. TANGENT SECTION 2.00"
- 47. TANGENT SECTION 2.00"
- 48. TANGENT SECTION 2.00"
- 49. TANGENT SECTION 2.00"
- 50. TANGENT SECTION 2.00"
- 51. TANGENT SECTION 2.00"
- 52. TANGENT SECTION 2.00"
- 53. TANGENT SECTION 2.00"
- 54. TANGENT SECTION 2.00"
- 55. TANGENT SECTION 2.00"
- 56. TANGENT SECTION 2.00"
- 57. TANGENT SECTION 2.00"
- 58. TANGENT SECTION 2.00"
- 59. TANGENT SECTION 2.00"
- 60. TANGENT SECTION 2.00"
- 61. TANGENT SECTION 2.00"
- 62. TANGENT SECTION 2.00"
- 63. TANGENT SECTION 2.00"
- 64. TANGENT SECTION 2.00"
- 65. TANGENT SECTION 2.00"
- 66. TANGENT SECTION 2.00"
- 67. TANGENT SECTION 2.00"
- 68. TANGENT SECTION 2.00"
- 69. TANGENT SECTION 2.00"
- 70. TANGENT SECTION 2.00"
- 71. TANGENT SECTION 2.00"
- 72. TANGENT SECTION 2.00"
- 73. TANGENT SECTION 2.00"
- 74. TANGENT SECTION 2.00"
- 75. TANGENT SECTION 2.00"
- 76. TANGENT SECTION 2.00"
- 77. TANGENT SECTION 2.00"
- 78. TANGENT SECTION 2.00"
- 79. TANGENT SECTION 2.00"
- 80. TANGENT SECTION 2.00"
- 81. TANGENT SECTION 2.00"
- 82. TANGENT SECTION 2.00"
- 83. TANGENT SECTION 2.00"
- 84. TANGENT SECTION 2.00"
- 85. TANGENT SECTION 2.00"
- 86. TANGENT SECTION 2.00"
- 87. TANGENT SECTION 2.00"
- 88. TANGENT SECTION 2.00"
- 89. TANGENT SECTION 2.00"
- 90. TANGENT SECTION 2.00"
- 91. TANGENT SECTION 2.00"
- 92. TANGENT SECTION 2.00"
- 93. TANGENT SECTION 2.00"
- 94. TANGENT SECTION 2.00"
- 95. TANGENT SECTION 2.00"
- 96. TANGENT SECTION 2.00"
- 97. TANGENT SECTION 2.00"
- 98. TANGENT SECTION 2.00"
- 99. TANGENT SECTION 2.00"
- 100. TANGENT SECTION 2.00"

113 X 354



NO.	DESCRIPTION	QTY	UNIT	REMARKS
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

THE INFORMATION CONTAINED HEREIN IS UNCLASSIFIED EXCEPT WHERE SHOWN OTHERWISE

TG 204002

Características de fabricación de la Turbina:

- ROTOR

Los rotores de alta, intermedia y baja presión están fabricados en varias secciones, forjadas y tratadas térmicamente, éstos rotores están diseñados para soportar un 20 % de sobrevelocidad, sin sufrir daños ni vibraciones anormales.

Los acoplamientos de las Turbinas, están diseñadas para soportar los pares desarrollados en condiciones de corto circuito en las terminales del Generador Eléctrico; estos acoplamientos son puestos axialmente por el cojinete de empuje puesto en la parte frontal.

Los cuerpos de rotor son de sólido acero aliado, producido para formar fuertes rotores con árboles, ruedas con cojinetes portantes y bridas de conexión.

- ALABES

Los álabes, son estrechamente ensamblados sobre las tenedas de los rotores, éstos son hechos con aleación cromo-hierro, que es extremadamente resistente a la corrosión y erosión por vapor.

Bandas de metal son empleadas para juntar las extremidades exterior de los álabes, éstas bandas son perforadas y puestas en segmentos sobre las muñequillas de las extremidades externas del álabe

Los álabes del último paso de la Turbina de baja presión donde la velocidad rotacional es alta, están hechas de "estelita" para proteger contra la humedad.

- TOBERAS Y DIAFRAGMAS

EL flujo de vapor es dirigido sobre los álabes a velocidad y ángulo adecuado por los diafragmas. Las áreas de las toberas y los ángulos de descarga son determinados por las siguientes variables:

1. El volumen de vapor en cada paso de la Turbina
2. La presión de vapor a través de los diafragmas
3. La velocidad en los álabes vecinos

Las partes de las toberas son hechas con aleación sólida cromo-hierro y son incorporadas en los diafragmas por medio de soldadura o fundición.

- VALVULA DE PARO PRINCIPAL Y DE RECALENTAMIENTO

El vapor sobrecalentado a la entrada de las válvulas de paro es de una temperatura y presión nominales de la Turbina.

Están instaladas 4 válvulas de paro principal de cierre hermético, localizadas a ambos lados de la carcasa:

2 en la Turbina de alta presión y 2 en la Turbina de presión intermedia.

Estas válvulas tienen las siguientes características:

- Tener preparaciones para soldar a tope y por lo tanto hermeticamente
- Deben soportar una presión máxima de 29.4 Mpa (300 Kg/cm²) cuando estén totalmente cerradas.

CONDENSADOR

Su objetivo es condensar el "vapor de escape", procedente de la Turbina de Vapor de baja presión, para proporcionarlo en forma de condensado a la succión de las bombas de condensado.

EL Condensador , es de construcción soldada, horizontal, tipo superficie, de un sólo cuerpo con zona integral de almacenamiento de condensado, cajas de agua dividida, tubos rectos. (ver fig.12 y 13)

El Condensador está constituido por los siguientes elementos:

1) Cuerpo

Debe suministrarse una junta de expansión de acero inoxidable para instalarse en el cuello del Condensador, para absorber los movimientos del ducto de escape de la Turbina, con respecto al cuello del Condensador.

En la zona de transición entre el cuello y la zona de condensación, se encuentra el Calentador de baja presión No. 1, por lo que se tiene en este los soportes respectivos.

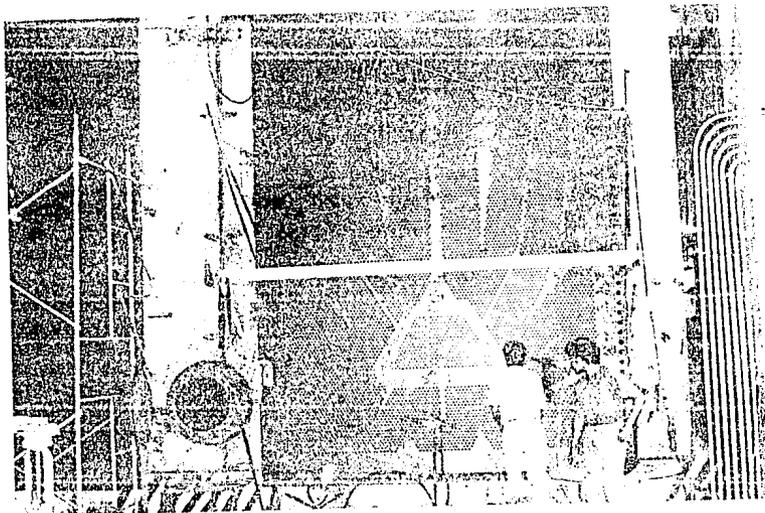


FIG. 12.- VISTA PARCIAL DEL CONDENSADOR; OBSERVESE LOS MILES DE ORIFICIOS POR DONDE CIRCULA EL "AGUA DE CIRCULACION" PARA ENFRIAR EL VAPOR DE ESCAPE PROVENIENTE DE LA TURBINA DE BAJA PRESION.

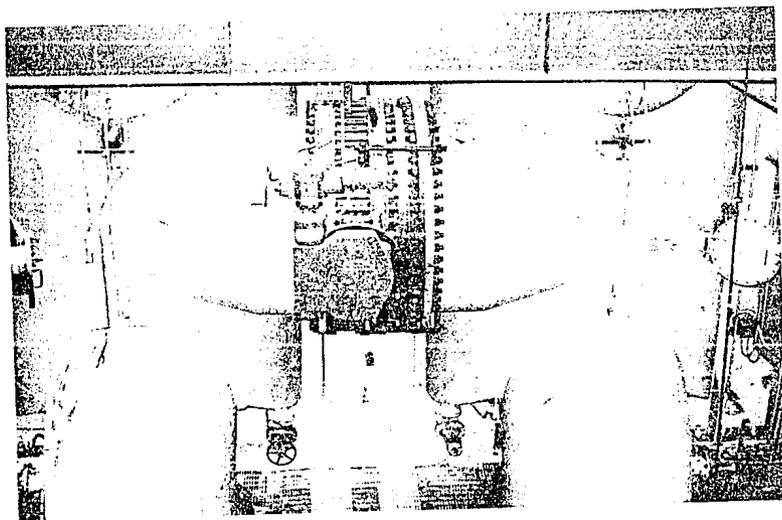


FIG. 13.- MISMA VISTA QUE LA FIGURA 12; PERO AHORA SE ENCUENTRA CON LA "PLACA DE CIERRE".

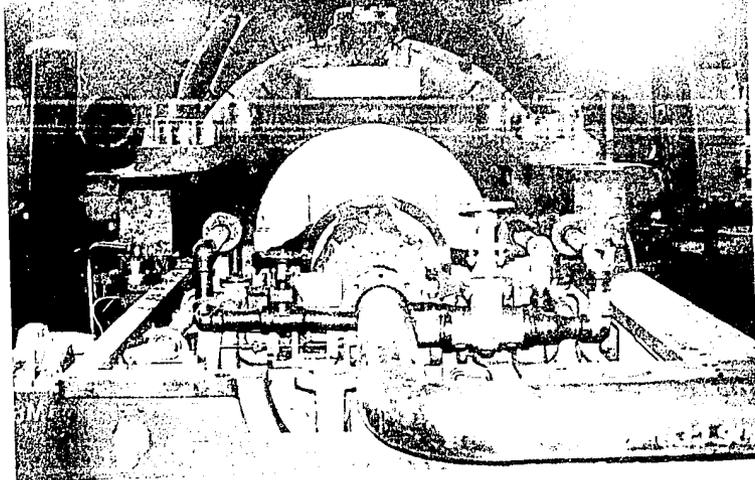


FIG. 14.- CONTROL ELECTROHIDRAULICO DE LA TURBINA DE VAPOR
EHC7 AL FONDO LA TURBINA DE ALTA PRESION

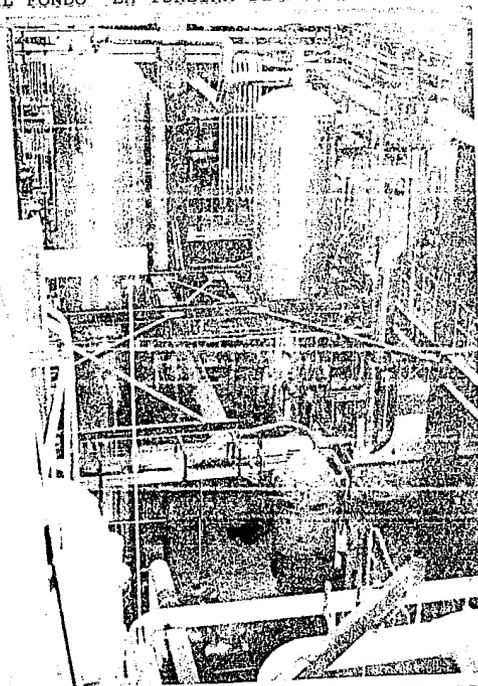


FIG. 15.- BOMBA PERTENECIENTE AL SISTEMA DE CONDENSADO; AL FONDO
CALENTADORES DE ALTA PRESION.

En el fondo del Condensador está provisto de soportes de acero estructural, en donde se apoya en cimentaciones de concreto.

Estos soportes deben permitir el movimiento de expansión térmica del Condensador, a partir de un punto fijo localizado directamente debajo del centro del ducto de escape de la Turbina.

2) Pozo Caliente

El Pozo Caliente debe ser integral con el cuerpo y debe tener capacidad de acuerdo a las normas de CFE, su función es la de almacenar durante determinado tiempo el vapor condensado.

La trayectoria de flujo del condensado debe ser de tal manera, que tarde cuando menos 3 minutos antes de alcanzar la salida del pozo caliente. Su capacidad es de 105 m³.

3) Cajas de Agua

El diseño de las cajas de agua es de tal manera que no se tenga turbulencia, para prevenir daños por cavitación y erosión a espejos o tubos. (por donde circula el agua de circulación)

Las cajas de agua deben atornillarse por medio de bridas al cuerpo del Condensador y están provistas de juntas de expansión para absorber los movimientos diferenciales, entre el cuerpo y los tubos, por las expansiones y contracciones térmicas.

4) Equipo de vacío

Eyector de operación permanente, es de tipo de chorro de vapor y dos etapas y de elementos dobles con inter y poscondensador.

Además de mantener el vacío, otra función es la de eliminar del vapor de escape los gases no condensables.

Características de diseño del Condensador:

Marca	SWECOMEX
Fabricante	MEXEQUIP
No. de paso	1
No. de cajas de agua	2

Tipo	Superficie
Superficie efectiva de transmisión de calor	20 189 m ²
Peso del equipo vacío	425 ton.
TUBOS ZONA DE CONDENSADO	
No. de tubos	40 932
Material	Cupro-niquel 90/10
Díametro exterior	1" cal. 18 BWG
Longitud	12.656 m
TUBOS ZONA DE INCONDENSABLES	
No. de tubos	1 704
Material	Cupro-niquel 70/30
Díametro exterior	1" cal. 18 BWG
Longitud	12.656 m
LADO VAPOR	
Flujo de escape	703 877 Kg/hr
Temperatura de vapor	42. 71 °C
Temperatura de diseño	0° - 100 °C
Presión de diseño	vacio - 100 KPa
Contenido de O ₂ máximo	0.01 cm ³ /lt.
Capacidad del Pozo Caliente	105 m ³

LADO AGUA

Flujo de agua de Circulación	56 108 160 Kg/hr
Temperatura de entrada	31.6 °C
Temperatura de salida	38.4 °C
Velocidad de agua en tubos	1.58 m/seg.
Presión de diseño	vacío - 525 KPa

III.4.2.- SISTEMA DE CONDENSADO

La función de éste sistema, consiste en que una vez ya condensado el "vapor de escape", en el Pozo Caliente, el cuál se convierte en "Agua de Condensado" (condensado) sea enviado hasta el Desgasificador, a través de un ciclo regenerativo. (fig. 16)

El Agua de Condensado se bombea desde el Pozo Caliente a través de las Bombas de Condensado y se hace pasar por las unidades pulidoras de condensado de donde y mediante la bifurcación de la tubería, se hace llegar el condensado por uno de los ramales al intercondensador y de éste al post-condensador del eyector principal de aire, de aquí al enfriador de drenes, hasta llegar al Calentador No. 1 que se encuentra en posición horizontal entre la Turbina de Vapor y el Condensador, despues le sigue el Calentador No. 2, 3, y 4. (hasta aquí llega el sistema anterior)

Para efectos de reposición del agua que se pierde por purgas en el Generador de Vapor, el sistema cuenta con un Tanque de Almacenamiento de Condensado, y es alimentado por medio de las bombas de agua del sistema de agua desmineralizadora de la Planta de Tratamiento de Agua de Repuesto del Ciclo.

El agua de repuesto al Condensador, fluye desde el Tanque de Amacenamiento de Condensado por diferencia de presiones entre el tanque y el Condensador, de está manera se mantiene el nivel de operación del Pozo Caliente.

El sistema de Condensado cuenta con el siguiente equipo:

1) Condensador

Tipo: Superficie, con caja de agua dividida y zona integral de almacenamiento de condensado, llamado: Pozo Caliente. (explicado el Condensador ampliamente en el inciso anterior)

2) Bombas de Condensado

Estas bombas tienen la función de succionar el agua desde el Pozo Caliente del Condensador y descargarla hasta el Desgasificador; pasandola a través de los Pulidores de Condensado y después a los Calentadores de baja presión.

Estas bombas son de tipo centrífugo, vertical, suspendida y sumergida en un tanque de succión, el accionamiento es directo por motor eléctrico de inducción. (fig. 15)

Características técnicas de las Bombas de Condensado:

BOMBA

Marca	BYRON JACKSON
Tipo	Vertical
Capacidad	294 lt./seg.
Potencia	1 206.39 HP
Eficiencia	87 %
Velocidad	180 rpm

MOTOR

Marca	BYRON JACKSON
Tipo de conexión	Estrella
Clase de aislamiento	F

Factor de potencia	89 P. U.
KVA a tensión nominal y plena carga	1 370 KVA
Tensión nominal	6 600 V
Potencia nominal	969.8/1 300 KW/HP

c) Unidades Pulidoras

Este es un sistema que forma parte del Sistema de Condensado, el cuál recibe el nombre de "Sistema de Pulidores de Condensado"; cuya función es la de "eliminar" del condensado: los residuos metálicos, los productos de corrosión y los sólidos disueltos por medio del intercambio iónico, antes de regresarlo al Generador de Vapor.

El condensado pasa a través de los tanques Pulidores de Condensado, donde se filtra y desmineraliza, antes de integrarse nuevamente al ciclo.

El sistema está formado por el siguiente equipo:

- Tanque Pulidores de Condensado
- Tanques de soza cáustica
- Tanque de ácido sulfúrico
- Tanque de regulación catiónica
- Tanque de regulación aniónica

Como éste sistema es diseñado de acuerdo con los criterios de diseño normalizado de la disciplina de la ingeniería química, no se profundiza más en el sistema.

d) Tanque de almacenamiento de Condensado

Como su nombre lo indica, es la de almacenar agua y reponerla al Generador de Vapor, que éste pierde ya sea por purgas ó en el ciclo.

El agua que se encuentra en el tanque proviene del Sistema de Tratamiento de Agua Dismineralizada.

Este tanque es cilíndrico, vertical, atmosférico y techo cónico, está conectado al Pozo Caliente para así mantener el nivel nominal de operación de éste.

Las características de construcción son las siguientes:

Tanque de Almacenamiento de Condensado

Altura	9.14 m
Díametro	12.19 m
Capacidad	810.80 m
Material	Acero

e) Calentadores de baja presión

Son 4 Calentadores que reciben vapor de la Turbina de baja presión; su función es la de aumentar la temperatura del agua del Sistema de Condensado, y así llegue con mayor temperatura al Generador de Vapor.

Todos los Calentadores son verticales, tubos en "U", de tipo superficie; a excepción del Calentador No. 1 que se ubica en el cuello del Condensador, es vertical, también tipo superficie.

Los datos técnicos son los siguientes:

Calentador de baja presión No. 4 (3 y 2 características técnicas similares)

Fabricante	SWECOMEX
Tipo	Superficie, vertical, tubos en "U"
Díametro exterior de los tubos	19 mm
No. de tubos	725

	Cubiertas	Tubos
Presión de diseño	700 KPa / vacío	3 900 KPa
Temperatura de diseño	300 °C	191 °C

Calentador de baja presión No. 1

Fabricante	MEXEQUIP	
Tipo	Superficie, horizontal, tubos en "U"	
Area de transferencia	655 m ²	
	Cuerpo	Tubos
Presión de diseño	3.6 Kg/cm ²	39.8 Kg/cm ²
Temperatura de diseño	148 °C	148 °C
Fluido	vapor	condensado

Enfriador de Drenes

Fabricante	MEXEQUIP	
Tipo	Horizontal	
Area de transferencia de calor	158 m ²	
	Cuerpo	Tubos
Presión de diseño	3.6 Kg/cm ²	39.8 Kg/cm ²
Temperatura de diseño	148 o C	148 o C
Fluido	Drenes	Condensado

III.4.3.- SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACION

La función del Sistema de Agua de Alimentación, es la de suministrar agua al Generador de Vapor, (Domo) y darle un precalentamiento a través de los Calentadores de alta presión que utilizan vapor proveniente de las extracciones de la Turbina de presión intermedia.

Este sistema abarca desde el Desgasificador hasta la entrada del "Economizador". (fig. 17)

Por medio de las Bombas de Agua de Alimentación, se suministra la presión requerida por el ciclo, las cuáles succionan desde el Tanque de Almacenamiento del Desgasificador que se encuentra a una altura aproximada de 55 m sobre el nivel de la planta, que sirve para cubrir la carga neta positiva de succión (CNPS) requerida por las Bombas de Alimentación, y así tener una presión mayor, que la existente en el Domo.

Este sistema cuenta con el siguiente equipo:

a) Desgasificador y Tanque de almacenamiento de Agua Desgasificada

Este equipo tiene dos funciones principales las cuales son:

- Calentar el agua de condensado, proveniente de los Calentadores de baja presión
- Eliminar el aire y los gases no condensables, contenidos en el agua de condensado, para evitar corrosión e incrustaciones en tuberías y equipos, principalmente en el Generador de Vapor.

1) El Desgasificador, (Dearador) consiste en un calentador de mezcla tipo combinado: charolas y espreas, con condensador interno de venteo; éste equipo está dimensionado para que el contenido residual de oxígeno no exceda de $0.0005 \text{ cm}^3 / \text{lt}$.

2) El Tanque de Almacenamiento de agua Desgasificada, (Tanque de Oscilación) se encuentra exactamente abajo del Desgasificador, es de construcción horizontal y está unido por medio de líneas igualadoras de presión.

En éste tanque se conecta a las Bombas de Agua de Alimentación, cuyo flujo lo regula un variador de velocidad, según la señal del nivel de demanda que reciba del Domo.

Características técnicas de estos dos equipos son:

Desgasificador

Fabricante	SWECOMEX
Modelo	válvulas y charolas
Tamaño	2.12 m DI X 9.4 m LG
Presión de diseño	1 400 KPa
Temperatura de diseño	380 °C
Capacidad de desgasificación	1 102 525 Kg/hr.
No. de charolas	7
Tipo de válvula rociadora	Spray
Area de cada piso	11.82 m ²
No. de válvulas rociadoras	66

Tanque de Almacenamiento del Desgasificador

Marca	SWECOMEX
Díametro interior	3.54 m
Longitud	11.56 m
Capacidad	120 m ³

b) Bombas de Agua de Alimentación

Succionan del Tanque de Almacenamiento del Desgasificador, el condensado y suministrar la presión requerida por el ciclo.

Las Bombas de Agua de Alimentación son centrífugas, horizontales, tipo barril, de pasos múltiples, doble succión, acopladas a un motor de inducción a través de un variador de velocidad, el cual suministra una infinita variedad de velocidades de salida, desde cero hasta la

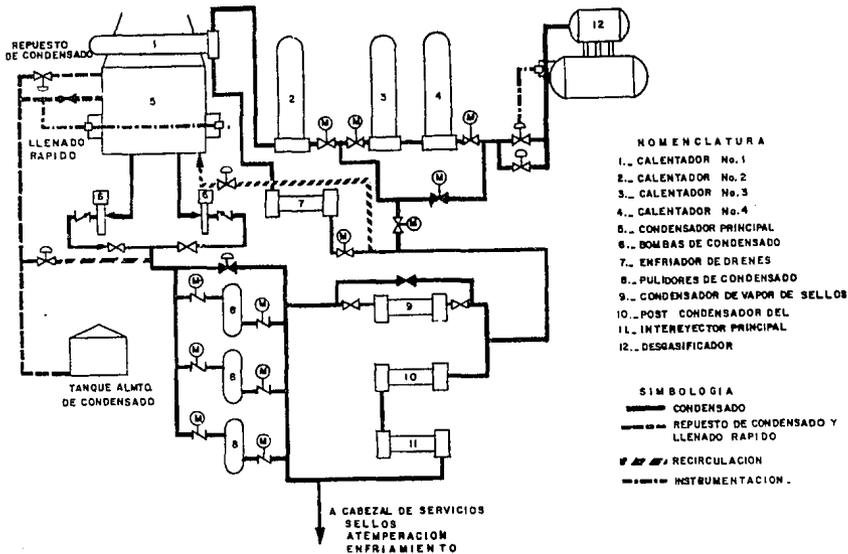


FIG. 16.- DIAGRAMA DE FLUJO DEL "SISTEMA DE CONDENSADO"

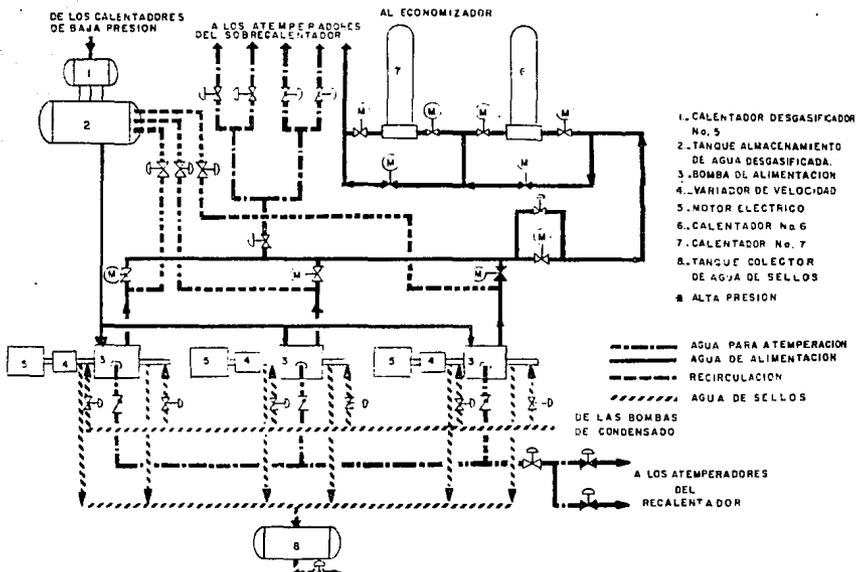


FIG. 17.- DIAGRAMA DE FLUJO DEL "SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACION"

Características técnicas de estos dos equipos son:

Desgasificador

Fabricante	SWECOMEX
Modelo	válvulas y charolas
Tamaño	2.12 m DI X 9.4 m LG
Presión de diseño	1 400 KPa
Temperatura de diseño	380 °C
Capacidad de desgasificación	1 102 525 Kg/hr.
No. de charolas	7
Tipo de válvula rociadora	Spray
Area de cada piso	11.82 m ²
No. de válvulas rociadoras	66

Tanque de Almacenamiento del Desgasificador

Marca	SWECOMEX
Díámetro interior	3.54 m
Longitud	11.56 m
Capacidad	120 m ³

b) Bombas de Agua de Alimentación

Succionan del Tanque de Almacenamiento del Desgasificador, el condensado y suministrar la presión requerida por el ciclo.

Las Bombas de Agua de Alimentación son centrífugas, horizontales, tipo barril, de pasos múltiples, doble succión, acopladas a un motor de inducción a través de un variador de velocidad, el cual suministra una infinita variedad de velocidades de salida, desde cero hasta la

máxima velocidad de rotación de la bomba, de acuerdo a los flujos demandados por la variaciones de nivel en el Domo.

Se tendrán (3) Bombas de Agua de Alimentación, de una capacidad de operación del 50 % c/u. El arreglo del sistema de bombeo de Agua de Alimentación, se diseñó de acuerdo para funcionar con una (1) sólo bomba para cargas menores del 50 %; para cargas mayores del 50 %, se utilizan las dos bombas, quedando una de reserva. (fig. 18)

Las características técnicas de las bombas son:

BOMBA

Marca	BYRON JACKSON
Capacidad nominal	190.22 lt./seg.
Presión de succión	10.96 Kg/cm ²
Presión de descarga	218.8 Kg/cm ²
Eficiencia	88.5 %
Potencia	4 298 KW
Velocidad	5 410 rpm

MOTOR

Marca	REMSA
Potencia	6 500 HP / 4 850 KW
Voltaje	6 600 Volts
Fases	3
Conexión	Estrella
Clase de aislamiento	F

c) Calentador de alta presión

Son intercambiadores de calor agua-vapor de tipo superficie, verticales, tubos en "U", del mismo tipo de construcción que los Calentadores de baja presión, con la única diferencia que reciben vapor de las extracciones de la Turbina de presión intermedia.

Además también cumplen con el mismo objetivo: la de calentar el "Agua de Alimentación"; aquí se utilizan dos (2) Calentadores. (fig. 15)

III.4.4.- SISTEMA DE AGUA DE CIRCULACION

La función de éste sistema es la de proporcionar el agua de enfriamiento, necesaria para llevar a cabo la etapa de condensación, del "vapor de escape" de la Turbina, en el Condensador. (fig. 20)

Como está agua de enfriamiento es suministrada por el río Balsas, entonces es lo que se llama un sistema "abierto".

El sistema "abierto" comprende el siguiente equipo:

- Obra de toma que incluye: "canal de llamada", conecada al río Balsas.
- Equipo de limpieza (reja contra troncos, reja basta, rejilla fija, malla giratoria)
- Difusores químicos
- Bombas de Agua de Circulación
- Grúa para el manejo de equipo
- Obra del "canal de descarga"

1) Obra de toma

Incluye el "canal de llamada", que se conecta al enorme caudal del río Balsas, y es aquí donde se encuentran todos los equipo mecánicos del "Sistema de Agua de Circulación". (fig. 19)

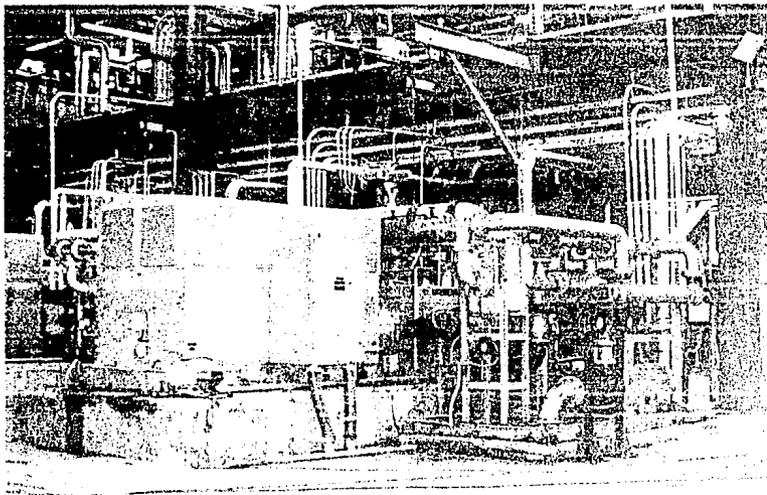


FIG. 18.- BOMBA PERTENECIENTE AL SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACION



FIG. 19.- "CANAL DE LLAMADA" CONECTADO AL RIO BALSAS Y POR EL OTRO EXTREMO A LA "OBRA DE TOMA" PERTENECIENTE AL SISTEMA DE AGUA DE CIRCULACION

2) Equipos de limpieza mecánica

Tiene la finalidad de minimizar la obstrucción de objetos provenientes del río Balsas, reteniendo y moviendo los desechos que son arrastrados hasta la obra de toma, y para estos se cuenta con los siguientes equipos:

- Reja contra troncos

El primer paso en el acondicionamiento del "agua de circulación", lo constituye la colación, a la entrada de la Obra de toma, de un enrejado que retenga objetos voluminosos que arrastran las corrientes, su limpieza se realiza manualmente

- Reja basta

Constituye un segundo paso en el tratamiento del agua y consiste en la remoción de los objetos menores que no fueron retenidos por el primer enrejado. Su operación es manual ó mecánica mediante rastrillos.

- Rejilla fija

Una etapa intermedia entre la reja basta y la malla giratoria lo constituye una rejilla fija de limpieza manual.

- Malla giratoria

Esta efectúa el acondicionamiento final del agua. El equipo es de tipo vertical, con alimentación por el centro y descargas laterales. Cuenta con un equipo de limpieza por asperción, para remover los desechos retenidos en las telas filtrantes.

3) Difusores de reactivos químicos

Con objeto de prevenir la proliferación de especies acuáticas en estado larvario, en el "Sistema de Agua de Circulación", así como para estabilizar el óxido protector que se forma en los tubos del Condensador, se dosifican reactivos químicos.

1ero) La dosificación de hipoclorito de sodio, (biocida) es con el objeto de eliminar la mayor cantidad de larvas posibles y evitar el ensuciamiento del equipo por especies biológicas.

La dosificación, se efectúa en cada uno de los canales longitudinales de la Obra de toma y justamente antes de los equipos de limpieza mecánica.

2do) La dosificación de sulfato ferroso, que se efectua en forma constante en los ductos de Agua de Circulación, justamente antes de las cajas de agua del Condensador.

4) Bombas de Agua de Circulación

Se cuenta con cuatro (4) Bombas por unidad, éstas bombas succionan agua de la Obra de toma (fig. 24), y la descargan a través de los ductos hasta el Condensador, que pasa através de los tubos de éste, y condensan el "vapor de escape".

Las características técnicas son las siguientes:

BOMBA

Marca	INGERSOLL RAND
Velocidad	440 rpm
Eficiencia	89 %
Tipo	Vertical
Presión neta de succión positiva	34 PSI

MOTOR

Marca	INGERSOLL RAND
Potencia	2 200 HP
Tensión nominal	6 600 V
Tipo de conexión	Estrella
Factor de potencia	0.67 P.U.

5) Grúa

Esta Grúa tipo: puente, ésta diseñada de acuerdo a la capacidad requerida para dar servicio (instalación y remoción) a cualquier equipo instalado en la Obra de toma. (fig. 24)

6) Canal de Descarga

Su función consiste en que una vez que el "Agua de Circulación", ya cumplió con su objetivo, (condensar el vapor de escape) es desechada en el "Canal de Descarga", el cual desemboca en el Océano Pacífico.

III.4.5.- SISTEMA DE MANEJO DE CENIZAS

Cuando en la C. T. Petacalco, se encuentre consumiendo carbón, se producirá ceniza, como producto de la combustión, entonces, según el manejo que se le de, se divide en dos sistemas:

1) Sistema de Ceniza de Fondo: Son las cenizas y escorias resultantes de la combustión, que se van acumulando en la parte inferior del Hogar, y que han de evacuarse periódicamente.

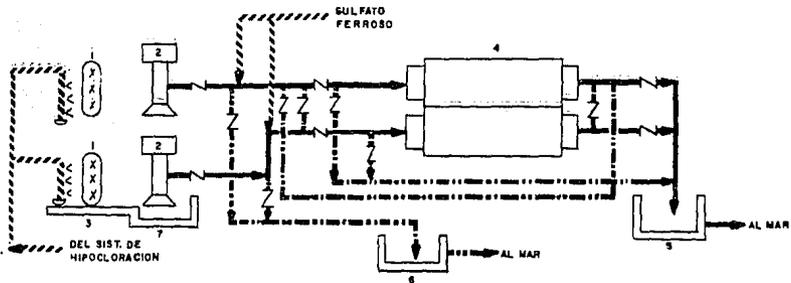
2) Sistema de Ceniza Volatil: También producto de la combustión, sólo que a diferencia de la anterior, ésta se encuentra en los humos.

A continuación se hará una descripción de cada uno de estos sistemas y sus componentes. (fig. 21)

III.4.5.1.- SISTEMA DE CENIZA DE FONDO

FUNCION DEL SISTEMA

La función del sistema de manejo de CENIZA DE FONDO, es la de coleccionar y transportar hidráulicamente, la ceniza producida en el Generador de Vapor: ceniza que por sus características de peso y tamaño, se precipitan en el fondo del Hogar, ó se deposita, por gravedad, en las tolvas de los Pre calentadores y el Economizador; considerando dentro de éste tipo de ceniza, los rechazos de los Pulverizadores (piritas).



SIMBOLOGIA

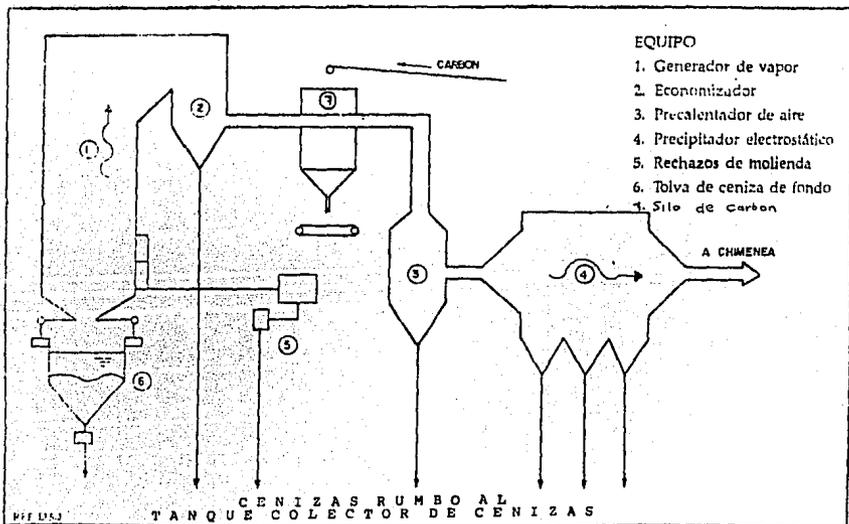
- AGUA DE CIRCULACION
- RETRO LAVADO Y CHOQUE TERMICO.
- DOSIFICACION DE QUIMICOS

NOMENCLATURA

- 1.- MALLAS GIRATORIAS.
- 2.- BOMBAS AGUA DE CIRCULACION.
- 3.- OBRA DE TOMA
- 4.- CONDENSADOR PRINCIPAL.
- 5.- POZO DE SELLOS
- 6.- FOSA DE MARISCOS
- 7.- CARCAMO

FIG. 20.- DIAGRAMA DE FLUJO DEL "SISTEMA DE AGUA DE CIRCULACION"

DESALOJO DE CENIZA DE FONDO Y VOLANTE DE UNA CARBOELECTRICA



EQUIPO

- 1. Generador de vapor
- 2. Economizador
- 3. Precalentador de aire
- 4. Precipitador electrostático
- 5. Rechazos de molienda
- 6. Tolva de ceniza de fondo
- 7. Silo de Carbon

FIG. 21.- DIAGRAMA DEL "SISTEMA DE MANEJO DE CENIZAS"

DESCRIPCION DEL SISTEMA

El sistema colecta cenizas en el fondo del Hogar, por medio de una Tolva hidráulica, ó Tolva de Ceniza de Fondo, con capacidad de 12 horas de producción, la cuál se descarga en operaciones intermitentes a través de la tubería de transporte hidráulico, hasta el Tanque Colector de cenizas dispuesto en el sistema.

Las cenizas colectadas en las Tolvas de los Precalentadores, Económizadores y Tolvas de rechazos de los Pulverizadores, también se transportan hidráulicamente por medio de eyectores, hasta el Tanque de transferencia del sistema, el cuál retiene la producción de la ceniza de las diferentes fuentes hasta un tiempo máximo de 12 hr., para luego ser transportado hidráulicamente, hasta el Tanque Colector de cenizas.

La relación estimada de agua-ceniza para dicho transporte, será 80 y 20 % respectivamente.

COMPONENTES DEL SISTEMA

El sistema está integrado básicamente por el siguiente equipo:

a) La Tolva Colectora de Ceniza de Fondo del Generador de Vapor, formada por dos secciones con capacidad total de 100 m³, para 12 hr. de almacenamiento de cenizas, operando el Generador de Vapor, a condición máxima continua (CMC) con carbón.

Cada sección de la Tolva, está equipada con una compuerta de descarga operada hidráulicamente y provista de sellos que impiden fugas de agua y ceniza al exterior.

b) (6) seis Tolvas Colectoras de ceniza del: Económizador, cada una de las seis Tolvas se encuentran abajo del Económizador y están provistas de una válvula doble motorizada, que permite descargar ceniza a las Tolvas hidráulicas por gravedad, conservando al mismo tiempo la presión interna de los gases al paso del Económizador.

c) (4) cuatro Tolvas Colectoras de ceniza del: Calentador de Aire Regenerativo, cada una de las cuatro, se encuentran abajo de éste Calentador, evacúa por gravedad la ceniza, hacia las cuatro Tolvas intermedias, mediante tuberías equipadas cada una de ellas de una válvula de contrapeso.

La ceniza pasa a la línea del hidroyector, que la conduce durante las fases de vaciado, hasta el tanque de transferencia.

d) (5) cinco Tolvas de rechazos de "piritas" de los Pulverizadores, que reciben y almacenan las piritas contenidas en el carbón.

Estas Tolvas están equipadas con una reja en su parte superior, para evitar que las piritas mayores, entren en el sistema de transporte hidráulico.

Durante la fase de transporte de rechazos de los Pulverizadores, se descargan por gravedad y los eyectores efectúan el transporte hasta el tanque de transferencia.

e) Un Tanque de Transferencia el cuál tiene la función de recoger la ceniza y piritas de todas las Tolvas descritas anteriormente.

Este Tanque es de forma cilíndrica y con fondo cónico, ésta equipado de Toberas de inyección, que facilitan el flujo del producto en el hidroeyector de transporte, hacia el Tanque colector de cenizas.

f) (8) ocho bombas centrífugas horizontales, para la recirculación de agua, que se encuentran conectadas a las Tolvas descritas anteriormente.

III.4.5.2.- SISTEMA DE MANEJO DE CENIZA VOLATIL

FUNCION DE SISTEMA

El sistema de manejo de CENIZA VOLATIL, ésta diseñado para transportar la ceniza, producto de la combustión del Generador de Vapor.La ceniza es transportada por los gases hasta la chimenea, a través del Precipitador Electrostático.

La "ceniza volatíl" alojada en las Tolvas de los Precipitadores es transportada neumáticamente hasta el silo de almacenamiento intermedio, donde se deposita hidráulicamente en un Tanque Colector de cenizas, mezclandose con la "ceniza de fondo", para transportarse hidráulicamente hasta la zona de depósitos.

DESCRIPCION DEL SISTEMA

El sistema de "ceniza Volátil", por cada unidad Generadora de Vapor, está integrado por: un sistema de extracción de cenizas, bajo el Precipitador, del tipo presurizado en fase diluida (la

fases diluida se define como: aquella mezcla que requiere más de 100 m³ de aire para mover 1 m³ de material, a una distancia inferior de 100 m), utilizando válvulas de descarga del tipo "AIR LOCK".

La ceniza se diluye en flujo de aire continuo, a través de la tubería de transporte que llega hasta el silo de almacenamiento intermedio.

La presión necesaria en el circuito, se efectúa por medio de compresores volumétricos, que permiten una presión de transporte de 0.3 a 1.2 Kg/cm² aproximadamente.

Para el aire de transporte se cuenta, por sistema y por unidad Generadora, con dos compresores, la velocidad de aire de transporte está comprendida entre 20 y 40 m/seg.

COMPONENTES DEL SISTEMA

a) Precipitador Electrostático. El principio de funcionamiento consiste en hacer pasar los gases de la combustión a través de un dispositivo constituido por dos juegos de electrodos, aislados eléctricamente entre sí, manteniendo un campo electrostático entre ellos a alta tensión. (fig.22)

Una tensión elevada rectificada (15 000 a 100 000 V) se aplica en los dos tipos de electrodos, montados en un recinto por donde circulan los humos que se han de depurar.

El polo negativo de la fuente de tensión, está conectado a los electrodos denominados: "emisivos".

El polo positivo a los electrodos denominados: "colectores", que están puestos a tierra.

Al aplicar la diferencia de potencial, entre los dos tipos de electrodos, provoca un potente campo electrostático, en éste campo, se produce una descarga unipolar, en los alrededores del electrodo emisor y los iones gaseosos se agarran a las partículas en suspensión.

Las partículas cargadas negativamente son entonces atraídas por el electrodo colector positivo, donde se descargan y quedan eléctricamente inertes.

Las partículas recogidas se evacuan hacia el fondo del recipiente ó Tolva del Precipitador.

b) Silos de Almacenamiento Intermedio. El diseño de estos silos es en base a almacenar durante 12 horas la ceniza obtenida de los Precipitadores.

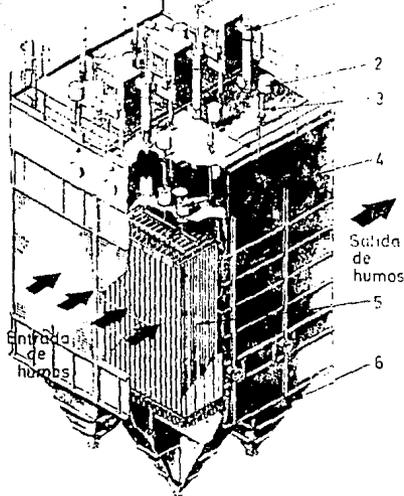


Fig. 22.- Colelector electrostático de polvo ACFC: 1—Terminales de entrada de alta tensión. 2—Martillos neumáticos de filtro electrostático. 3—Vibradores magnéticos del filtro electrostático. 4—Aisladores de los electrodos de descarga. 5—Placas colectoras de cenizas y polvo. 6—Tolvas de cenizas y polvo.

FIG. 22.- COMPONENTES DE UN PRECIPITADOR ELECTROSTATICO

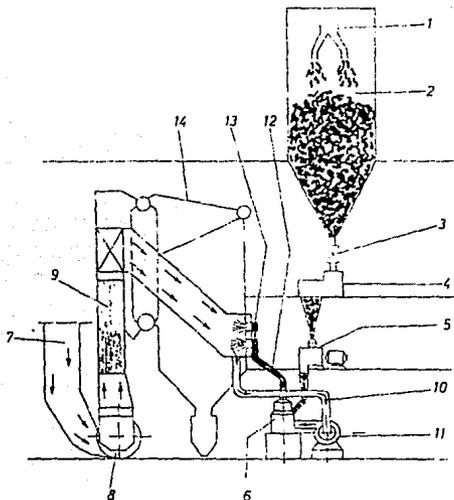


Fig. 23.- Representación esquemática de un equipo de combustión directa para combustible pulverizado: 1—Transporte de carbón. 2—Carbonera. 3—Válvula de descarga. 4—Hélice. 5—Alimentador del molino de carbón. 6—Molino de carbón. 7—Aspiración de aire de combustión. 8—Aspirador. 9—Calentador de aire de combustión. 10—Conducto de aire precalentado. 11—Ventilador. 12—Conducto de carbón pulverizado. 13—Quemador. 14—Caldera.

FIG. 23.- COMPONENTES DEL EQUIPO DE SUMINISTRO DE CARBON A QUEMADORES

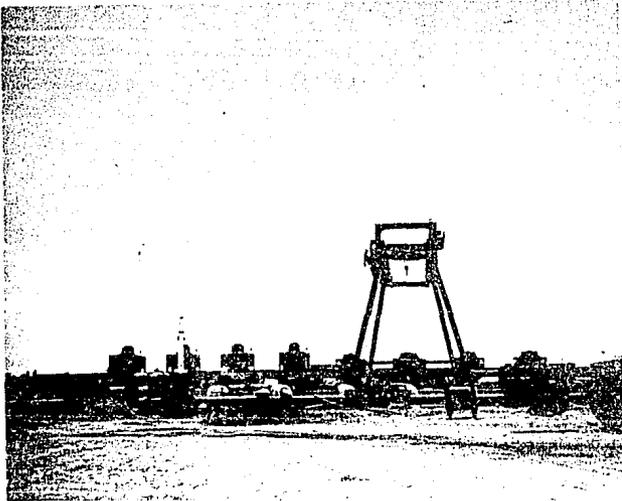


FIG. 24.- VISTA GENERAL DEL AREA DEL CARCAMO; PERTENECIENTE AL SISTEMA DE AGUA DE CIRCULACION; AL FONDO SE ENCUENTRAN LAS BOMBAS DE CIRCULACION Y EN PRIMER PLANO LA GRUA PUENTE.

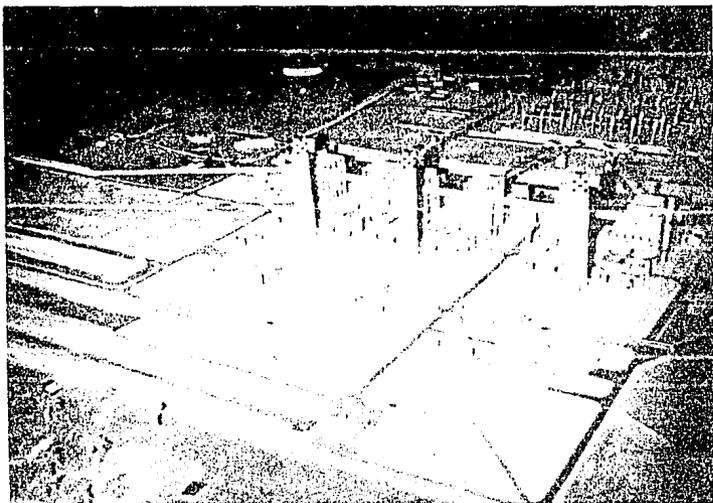


FIG. 25.- VISTA GENERAL DE LA C. T. PETACALCO; PUNTOS NEGROS "TORRES DE DESCARGA".

III.5.- USO Y MANEJO DE COMBUSTIBLES EN LA C. T. PETACALCO

Como ya se señaló anteriormente; la C. T. Petacalco, es la primera Central Dual del país que consumirá carbón como combustible base y salvo excepciones combustóleo; en éste inciso se abordará el tema del almacenamiento, manejo y características de éstos dos combustibles utilizados en ésta Central.

III.5.1.- SISTEMA DE RECEPCION Y MANEJO DE CARBON

El sistema para el manejo de carbón comprende, el suministro de carbón desde los barcos en la terminal marítima hasta el patio de almacenamiento, en el puerto de Lázaro Cárdenas, Mich. (fig. 26)

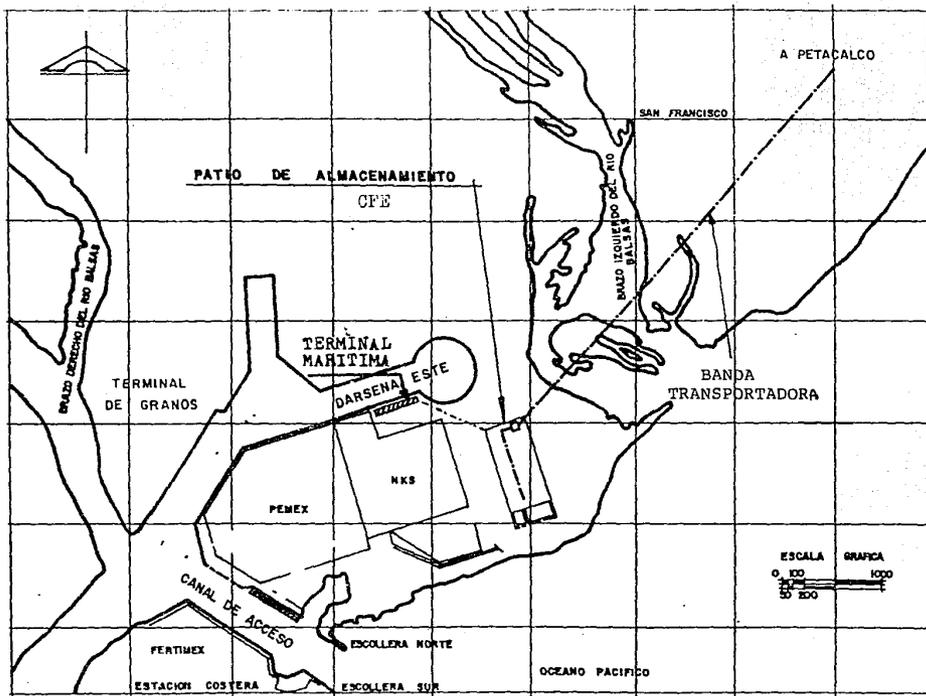
Por lo tanto la CFE, esta construyendo una terminal de recepción de carbón, así como el patio de almacenamiento, con una capacidad de recepción de 6 millones de toneladas de carbón de importación anuales, con una variación de $\pm 2\%$.

Dentro de la infraestructura para el recibo y manejo de carbón que se requiere, destacan por su importancia los siguientes equipos:

- 1.- Descargadores de barco
- 2.- Bandas transportadoras
- 3.- Apiladores/Recuperadores

1.- Descargadores de barco

El equipo que encuentra en la terminal marítima y se utiliza para descargar los barcos, es el tipo: semicontinuo, también denominado de "almeja", éste tipo de descargador introduce dicha almeja ó cucharón en las bodegas del barco, y con auxilio de poleas, cables y motores, se eleva y traslada el carbón hasta la Tolva de recibo, (fig. 27) debajo de ésta Tolva se ubica el

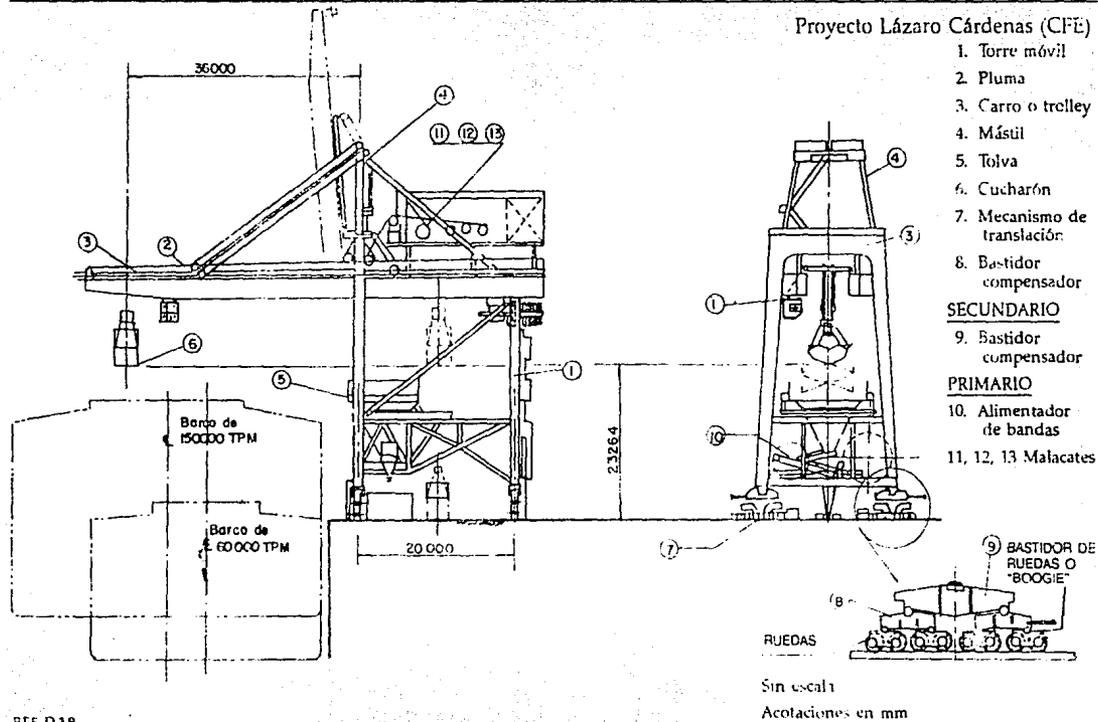


COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

TERMINAL DE CARBON EN EL PUERTO LAZARO CARDENAS

FIG. 26.- UBICACION DE LA TERMINAL PARA RECEPCION DE CARBON DENTRO DEL PUERTO DE LAZARO CARDENAS MICH.

DESCARGADOR DE BARCOS SEMICONTINUO (ALMEJA) COMPONENTES BASICOS



RIE D.39

FIG. 27.- EQUIPO DESCARGADOR DE BARCO PARA CARBON; UBICADO EN LA TERMINAL MARITIMA

"Transportador", que conducirá el combustible hasta el Patio de Almacenamiento, también dentro del puerto de Lázaro Cárdenas.

2.- Bandas transportadoras (tipo convencional)

La función de la Banda transportadora es la de llevar el carbón descargado del barco, que se encuentra en la Tolva de recibo, hasta el patio de almacenamiento y de aquí una vez mezclado y habiéndole hechos sus analisis sera mandado tambien por banda hasta la Central.

El tipo de transportador a utilizarse es del tipo: convencional (rodillos inclinados); ya que éste tipo es la de mayor uso en el mundo y además en los últimos años se han tenido avances tecnicos significativos.

El principal avance es referente al incremento de la velocidad del material (ton/hr), si se incrementa la velocidad, el ancho de banda se reducirá.

Por ejemplo; si se transporta carbón a razon de 2 000 ton/hr de capacidad máxima en una banda de 1 200 mm (47.24") de ancho, cuya velocidad sea de 4 m/seg, es factible reducir éste ancho a 1 050 mm (41.3") si ahora la velocidad es de 5.25 m/seg; por lo tanto la reducción del ancho de banda es del 12.5 %, lo que representa un ahorro substancial en los costos de inversión, operación y mantenimiento del transportador.

Otro avance tecnológico se refiere al diseño de trayectorias con curvas horizontales; hasta antes de 1960 no existían en el mundo bandas transportadoras con éstas características y en el caso de cambios de trayectorias se tenia que recurrir forzosamente a las torres de transferencia, las cuales incrementaban el costo y mantenimiento de la instalación; pues requería adicionar poeas, motores, estructuras y controles. Un buen ejemplo de transportador "curvado" lo representa el instalado en las minas de níquel en Nueva Caledonia en el Pacífico sur. Se trata de una banda de 11 km de longitud con cuatro curvas horizontales.

Las bandas para transporte están constituidas de diferentes materiales entre los cuales se encuentran los sigulentes: Nylon, Poliester, Kevelar 49 (material sintético), cable de acero.

En la figura 28 se muestra los componentes principales de un transportador de banda.

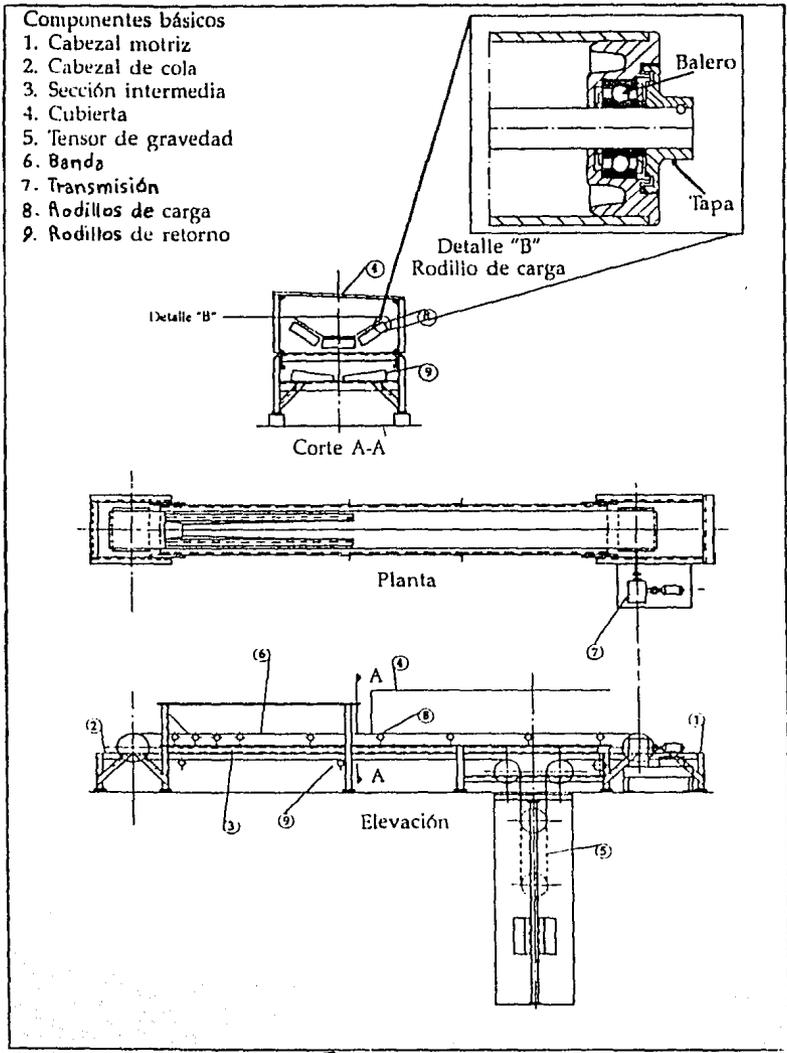


FIG. 28.- COMPONENTES BASICOS DE UN TRANSPORTADOR DE BANDA (EQUIPOS PARA RECEPCION Y TRANSPORTACION DE CARBON)

A continuación se dan las características generales de éste tipo de transportador:

TRANSPORTADOR CONVENCIONAL	VELOCIDAD (m/seg)	ANCHO/BANDA pulgadas	CAPACIDAD (ton/hr)
	0.2 - 10	18 - 120	10 - 11 000

3.- Apiladores / Recuperadores

En el "patio de almacenamiento" de carbón, que se encuentra en el puerto de Lázaro Cárdenas, es indispensable la utilización de máquinas apiladoras ó recuperadoras de éste combustible a granel.

Como su nombre lo indica, este tipo de equipo, puede apilar, o formar pilas, por lo general a una velocidad alta, con respecto a la recuperación del mismo material; esto se debe a que la maniobra de recepción es más económica cuando más pronto se realice.

La velocidad de recuperación de éste para su envío a la Central de Generación, depende de la demanda resultante por el número y capacidad de la unidades carboeléctricas en operación.

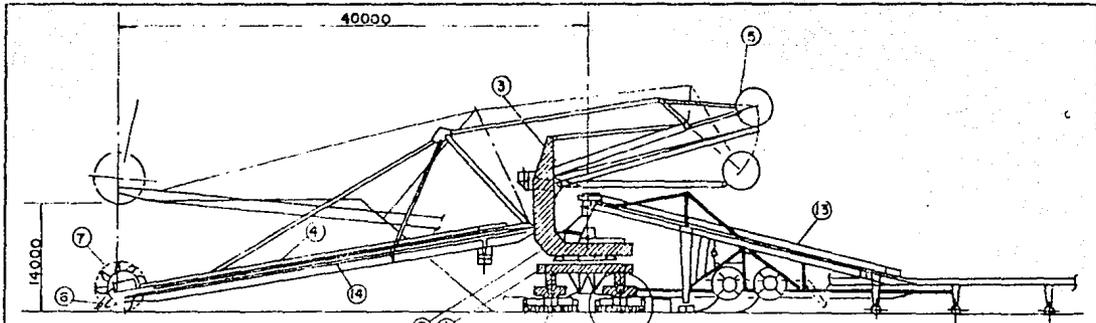
Las partes fundamentales de éste equipo son:

- Un sistema de traslación. (por lo general sobre cadenas del tipo bulldosser) (fig. 29)
- Un brazo ó pluma, donde va el transportador.
- Una rueda de cangilones para recoger carbón. (rotopala)
- Un mecanismo de izaje y otro de giro.
- Una estructura central ó mástil con contrapeso, que permite mantener su estabilidad para diferentes condiciones de operación.

III.5.2.- SUMINISTRO Y EQUIPO DE COMBUSTION PARA CARBON

Este equipo tiene como finalidad el suministro de carbón, desde el "patio de almacenamiento" hasta los "quemadores" del Generador de Vapor. (fig. 23)

APILADOR/RECUPERADOR (COMPONENTES BASICOS)



Proyecto Lázaro Cárdenas (CFE) (2) (1)

1. Estructura base Gantry
2. Superestructura
3. Mástil
4. Pluma para rueda de cangilones
5. Pluma y caja para contrapeso
6. Cabezal para ruedas cangilones
7. Ruedas de cangilones
8. Mecanismo de translación
9. Ruedas
10. Bastidor de ruedas
11. Bastidor compensador secundario
12. Bastidor compensador primario
13. Carro de descargador o cargador ("tripper")
14. Transportador de pluma

NOTA: acotaciones en mm

REF D.3.9

FIG. 29.- EQUIPO APILADOR/RECUPERADOR; ESTE EQUIPO SE ENCUENTRA
EN EL PATIO DE ALMACENAMIENTO DE CARBON

La distancia que existe entre el patio de almacenamiento y la Central es de aproximadamente 10 Km; para éste trayecto se volverá a utilizar el sistema de "Banda transportadora", que en todo el trayecto ira cubierta por laminas en los costados y en la parte superior, para evitar contaminación en el aire y perdidas económicas, por producirse polvo al ser tranportado.

Este sistema comprende de los siguientes equipos:

- Torres de descarga
- Tolvas de carbón
- Basculas
- Alimentador
- Pulverizador

Al llegar a la Central, la Banda transportadora se elevara hasta las Torres de descarga (parte superior de los Silos de carbón, de los Generadores de Vapor). (fig. 25)

Una vez que el carbón ha sido descargado en los silos de carbón, (5) por unidad, este comienza a bajar por gravitación, hasta la válvula de descarga, donde se va pesando en una vástula (para medir el gasto: ton/hr). (fig. 23)

Ya pesado, pasa al siguiente equipo: alimentador de carbón, cuya función es la de acelerar el suministro de carbón a los pulverizadores, que muele este (para tratar de convertirlo en polvo). (fig. 23)

Y por último el carbón se mezcla con aire precalentado, en donde llega a los quemadores de carbón, que se encuentran en el Hogar, donde se realiza la combustión.

III.5.3.- ANALISIS DE CARBON MINERAL NO COQUIZABLE (BITUMINOSO)

Humedad total	%	8.2
Materia volatil	"	34.0
Ceniza	"	8.3
Carbón fijo	"	49.5
Total	"	100.0
Poder calorífico (Kcal/kg)		5 920.0
Ultimo analisis		
Hidrógeno	%	3.8
Carbono	"	66.9
Nitrógeno	"	1.3
Oxígeno	"	10.8
Azufre	"	0.66
Cloro	"	0.04
Humedad total	"	8.2
Ceniza	"	8.3
Total	"	100.0

III.5.4.- ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE COMBUSTOLEO

La función de éste sistema es la de almacenar combustóleo y transferirlo a los "tanques de día" de la Central. (fig. 30)

El combustóleo se recibe en la Central, a través de oleoductos que provienen de las instalaciones de PEMEX; ubicadas en el puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.

Una vez que el combustóleo se encuentra en los Tanque de Almacenamiento (cuatro para la Central), es calentado por los Calentadores de succión, de donde se succiona por las Bombas de transferencia, para ser enviado a los "Tanques de día".

El equipo con que cuenta éste sistema es el siguiente:

- Tanque de Almacenamiento de combustóleo

Se tiene (4) Tanques en la Central, cada tanque está diseñado con una capacidad para alimentar durante 16 días a una unidad Generadora de Vapor, operando al 100 % .

Estos tanque son cilíndricos, verticales, con techo cónico; e incluye boquillas para llenado, descarga, drenajes, derrames que se envían a la fosa colectora, recirculación de combustóleo, registro de limpieza y venteo, así como escaleras de acceso y bandarales de protección. Sus características físicas son las siguientes:

Altura	12.19 m
Díámetro	18.29 m
Capacidad	34 600 m ³
Material de fabricación	acero al carbono

- Calentadores de succión

La función es la de elevar la temperatura del combustóleo, mejorando así la combustión de éste; cada Tanque de Almacenamiento cuenta con un Calentador. tipo tubular en "U", aquí el vapor fluye por dentro y el combustóleo a través de la carcaza.

Características técnicas:

Marca	SWECOMEX
No. de tubos	277
Calor total intercambiado	11 380 601 KJ/hr

Fluido	Cubierta Combustóleo	Tubos Vapor de agua
Temperatura de entrada	40 °C	148 °C
Temperatura de salida	60 °C	148 °C

- Bomba de transferencia

Se cuenta con una (2) bombas rotatorias (tipo tornillo), una para funcionamiento normal y otra de reserva, además de ser transferible de un tanque a otro.

Su función es la de transferir el combustóleo de los Tanques de Almacenamiento hasta los Tanques de día.

La succión de las bombas es en forma independiente, desde el cabezal común de descarga de los Calentadores de succión, por otro lado las bombas cuentan con válvulas de alivio, que drenan hacia los Tanques de Almacenamiento en forma independiente, además las bombas descargan en forma independiente hacia un cabezal común, que alimenta a los Tanques de día.

En cada una de las descargas independientes de las bombas, se tiene válvulas de retención (check) y línea de derivación (By-pass), para precalentamiento de la Bomba que esté fuera de servicio y se requiera operar.

Estas bombas, están diseñadas para que cada bomba maneje el gasto necesario para llenar un Tanque de día en 4 horas, considerando a la vez que se llena, se abastece a su correspondiente

Generador de Vapor, operando al 100 % de carga. Las características técnicas son las siguientes:

Bomba de transferencia de combustible

Marca	LEISTRITZ
Velocidad	1 185 rpm
Flujo	91.20 Kg/seg
Presión de descarga	676.78 KPa
Temperatura	60 o C

MOTOR

Marca	SIEMENS
Tensión	460 V
Corriente	120 A
Potencia	250 HP

III.5.5.- SUBSISTEMA DE COMBUSTOLEO PRINCIPAL

Este subsistema tiene por objetivo; proporcionar el combustóleo que se encuentra en los Tanques de día, hasta los quemadores del Generador de Vapor. (fig. 31)

El combustóleo, se recibe en los Tanques de día proporcionado por las Bombas de tranferencia; de aquí, es succionado mediante las Bombas principales de combustóleo a quemadores, pasando por los Calentadores de succión, para ser calentado a una temperatura de manejo adecuada, estos sistemas son propios del "Subsistema de Combustóleo Principal".

Se tiene un (1) Calentador principal por unidad y otro de resrva común a dos unidades.

Para cada Generador de Vapor, se tiene tres (3) bombas principales de combustóleo a quemadores, de las cuáles dos (2) están en operación normal y una (1) de reserva.

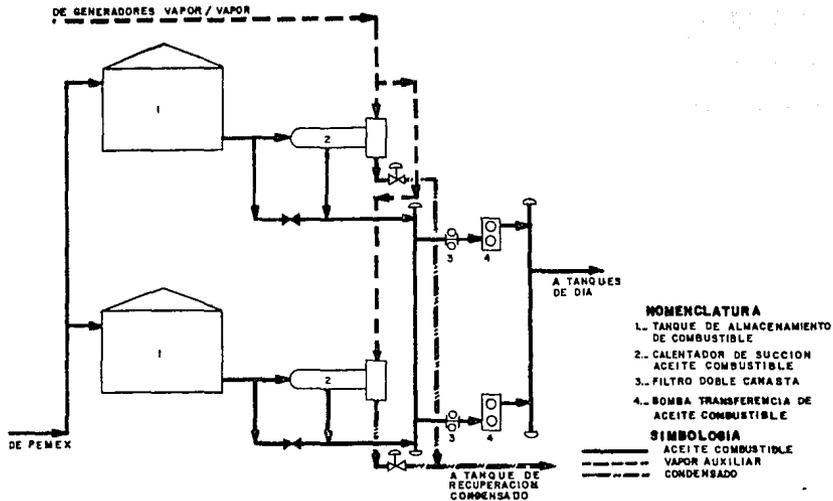


FIG. 30.- SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE COMBUSTIBLE (COMBUSTOLEO)

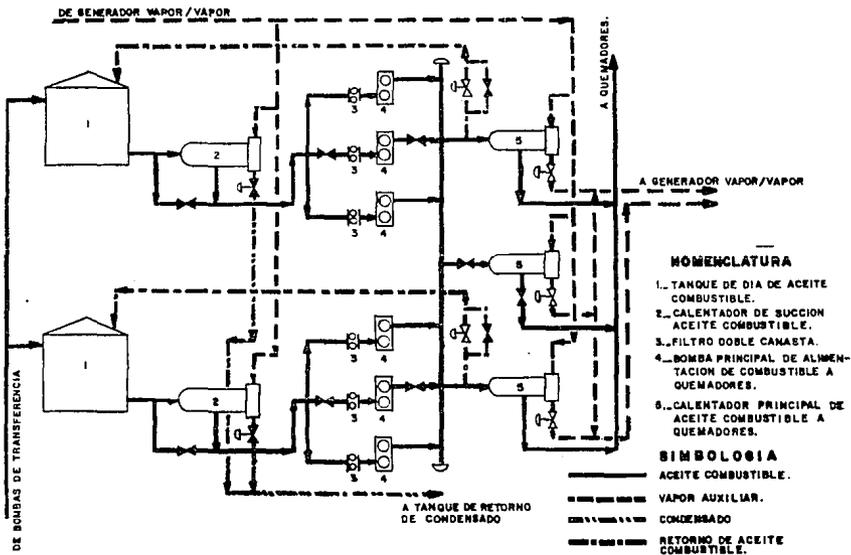


FIG. 31.- SUBSISTEMA DE COMBUSTOLEO PRINCIPAL (COMBUSTOLEO A QUEMADORES)

Las tres bombas succionan de un cabezal común, en el momento de ser bombeado el combustóleo, éste pasa por los Calentadores principales, los cuáles calientan el combustible hasta una temperatura requerida por los quemadores.

Las componentes de éste subsistema son:

Tanques de día

Los Tanques son del tipo cilíndrico vertical, con techo cónico e incluye boquillas de llenado, descarga, drenajes, registro de limpieza y venteo, así como escaleras de acceso y bandarales de protección.

Las características físicas son las siguientes:

Altura	12.80 m
Díámetro	10.66 m
Capacidad	1 144 m ³
Material	Acero al carbón

Calentador de succión del tanque de día

Son intercambiadores de calor de tipo tubular, cerrado, tubos en "U", exterior al tanque lo más cercano posible a éste.

En los Calentadores, el vapor fluye por los tubos, y el combustóleo a través de la carcaza; las características técnicas son las siguientes:

Marca	CONSORCIO INDUSTRIAL S. A.	
	Envolvente	Tubos
Flujo de diseño	91 080	859 Kg/hr
Presión de diseño	520	1 000 Kg/hr

No. de tubos

66

Díametro de tubos

19 mm

Bombas principales de combustóleo a quemadores

Las Bombas, son de 50 % de capacidad cada una, para la alimentación de combustóleo a quemadores, se considera como como 100 % de capacidad, el combustóleo requerido por un Generador de Vapor a 100 % de su carga.

Las bombas son rotatorias tipo tornillo, horizontales, de velocidad constante, para trabajo pesado y operación continua,

Estas bombas son autocebantes y capaces de operar en seco. Sus características son las siguientes:

BOMBA

Marca

LEIZTRITZ

Flujo

13.5 Kg/seg

Presión de descarga

3 547 KPa

Temperatura

60 °C

Viscosidad del fluido

604 Cst

MOTOR

Marca

SIEMENS

Tensión

460 V

Corriente

120 A

Potencia

100 HP

Conexión

estrella

III.5.3.- ANALISIS DE COMBUSTOLEO PESADO (BUNKER "C")

Carbono	(% en peso)	83.64
Hidrogeno	"	11.3
Azufre	"	4.2
Nitrogeno-Oxigeno	"	0.86
Ceniza	"	0.06
Vanadio	ppm	300.0
Sodio	"	40.0
Niquel	"	25.0
Acero	"	10.0
Potasio	"	5.0
Poder calorífico (Kcal/Kg)		10 000.0
Densidad a 24.4 °C (g/cm³)		0.897
Viscosidad a 50 °C (ssf)		550.0

III.6.- FUNCIONAMIENTO DE LA CENTRAL TERMoeLECTRICA PETACALCO

En éste inciso se hablará sobre el funcionamiento de la Central, en base al diagrama de flujo de la figura 32; el cuál tiene como finalidad una comprensión general de todo el equipo y componentes principales que interactúan, con un objetivo común: la producción de energía eléctrica.

Empezando por el suministro de combustible; si es carbón, se alimenta desde el patio de almacenamiento, que se encuentra en el puerto de Lázaro Cárdenas, hasta los silos de carbón, que se encuentran en los Generadores de Vapor, por medio de la banda transportadora.

Si ahora, el combustible ha utilizarse es combustóleo, el suministro es por medio de un oleoducto, que llega hasta los Tanques de Almacenamiento de Combustible de la Central, el combustóleo proviene de las instalaciones de PEMEX, que se encuentran también en el puerto.

Cualquiera de estos combustibles: carbón ó combustóleo, llegan a los "quemadores", que se encuentran en el Hogar, parte constitutiva del Generador de Vapor.

El Hogar está formado por paredes que contienen agua (acuatubulares), que al calentarse, el agua se convierte en vapor.

Esta agua contenida en los tubos es proporcionada por el Domo, que también es parte del Generador de Vapor, que tiene como segunda función, separar el vapor contenido en el agua, que fue calentada en el Hogar, una vez separado el vapor del Domo, éste recibe el nombre de "vapor humedo".

El vapor húmedo se dirige al siguiente elemento del Generador de Vapor, el Sobrecalentador, cuya función es quitarle la humedad a éste vapor, para convertirlo en "vapor seco"; el cuál ya tiene las características apropiadas de presión y temperatura para la Turbina de Vapor.

Una vez que el vapor tiene contacto con: las toberas, diafragmás y álabes de la Turbina de alta presión; la hace girar hasta llegar a una velocidad constante de 3 600 rpm.

Ya habiendo trabajado el vapor en ésta sección de la Turbina, es extraído otra vez al Generador de Vapor, en donde se aumenta la temperatura (aprovechando que todavía tiene energía cinética, para las otras secciones de la Turbina), por medio del Recalentador, y ahora tenemos "vapor recalentado" con rumbo a la Turbina de presión intermedia.

Este vapor vuelve a trabajar está parte de la Turbina, pero a menor presión, y por último se dirige a la Turbina de baja presión; aquí es donde se encuentra acoplada mecánicamente al Generador Eléctrico, que produce un voltaje nominal de 20 KV, que es mandado a un Transformador Principal, que eleva éste voltaje a 400 KV, para ser transmitido a los centros de consumo.

Para optimizar el ciclo termodinámico, se extrae el vapor que trabajó en la sección de baja presión de la Turbina, llamado "vapor de escape", rumbo al Condensador, pasando por el Calentador horizontal de baja presión No. 1 del ciclo termodinámico.

El Condensador, está constituido por miles de tubos, por donde pasa agua de enfriamiento, que sirve para "condensar" el vapor de escape, ya habiéndose convertido en agua éste vapor, se precipita al fondo de este, el cuál recibe el nombre de "Pozo Caliente".

El agua de enfriamiento (realmente su nombre es el de "Agua de Circulación") es suministrada por la Obra de toma, donde el agua es tratada y absorbida por medio de las Bombas de Agua de Circulación; una vez que ésta agua pasa por el Condensador, se desecha al Canal de descarga, y de aquí al mar.

El agua que se encuentra en el Pozo Caliente, llamada Agua de Condensado, es extraída, por medio de las Bombas de Condensado, con rumbo a los Calentadores de baja presión No.1, 2 3 y 4 (cuya función es elevar la temperatura del condensado), pasando por los Pulidores de Condensado, cuya función es reducir y eliminar, todo producto corrosivo que pudiera dañar al Generador de Vapor.

Una vez que el condensado ha pasado por los Calentadores anteriores, se dirige al Calentador No. 5, que también es de baja presión, pero se encuentra unido al Desgasificador, cuya función es la de eliminar los gases no condensables, como el oxígeno, ya que corroe las paredes del Hogar.

Eliminado el oxígeno del condensado, y almacenado en el tanque del Deareador (el cuál ahora recibe el nombre de "Agua de Alimentación"), se extrae por medio de las Bombas de Alimentación, las cuáles tienen la capacidad necesaria para suministrarlo a los Calentadores de alta presión No. 6 y 7 (tienen la misma función de los Calentadores de baja presión), el Economizador (elemento del Generador de Vapor, que tiene la función de elevar aún más la temperatura del agua), y por último al Domo.

CAPITULO IV

SISTEMA DE GENERACION PRINCIPAL

INTRODUCCION

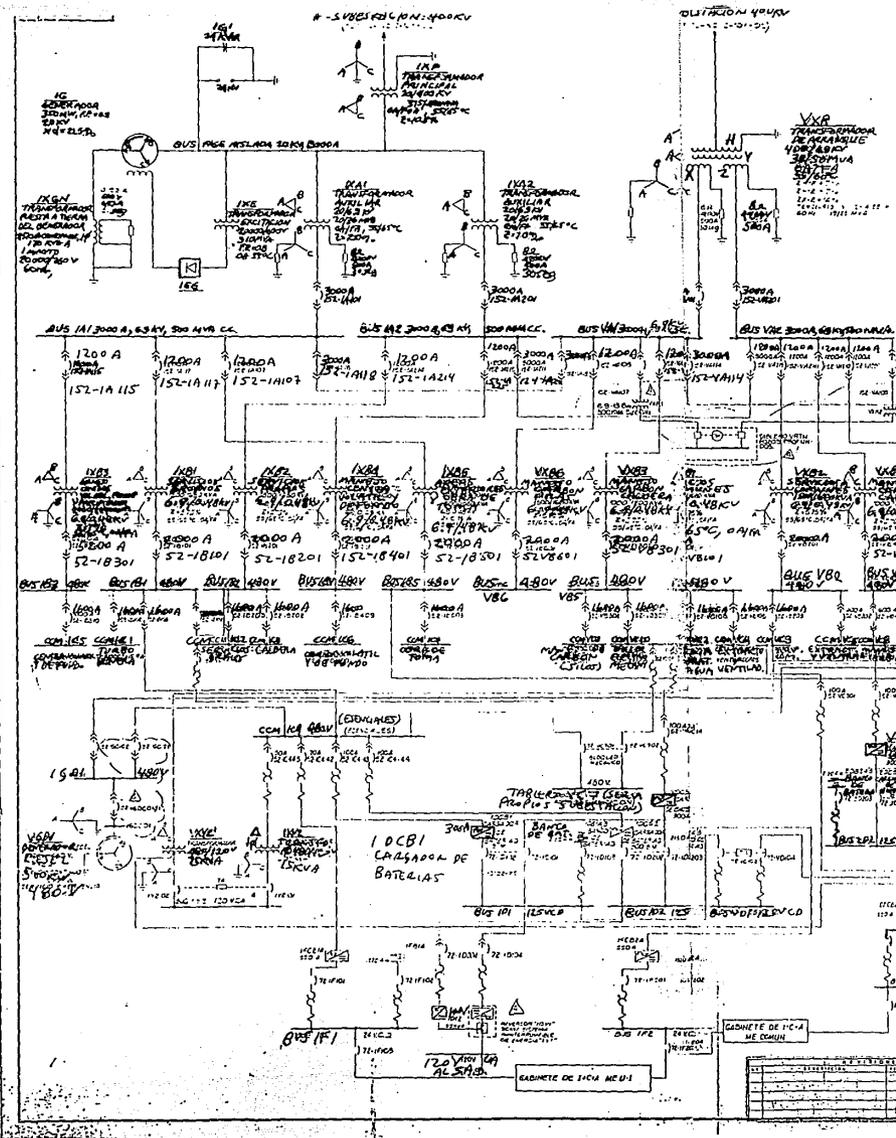
El Sistema de Generación Principal, es un conjunto de equipos, que tienen como objetivo, la producción de energía eléctrica, aprovechando la energía mecánica proporcionada por la Turbina de Vapor, además de elevar la tensión del Generador Eléctrico, para su transmisión, así mismo, a través del Bus de Fase Aislada, distribuye la energía eléctrica para alimentar y controlar los auxiliares de cada unidad de la Central.

Este sistema es trifásico, tres hilos, 60 Hz, tensión de generación de 20 KV, y tensión a la subestación de 400 KV.

Este sistema se muestra en el "DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL" y está constituido por el siguiente equipo:

- 1) Generador Eléctrico
- 2) Sistema de Excitación
- 3) Bus de Fase Aislada
- 4) Transformador principal
- 5) Transformadores auxiliares
- 6) Transformador de arranque

ESTA FOTO NO DEBE SALIR DE LA USHATELA



IV.1.- GENERADOR ELECTRICO

IV.1.1.- GENERALIDADES

El Generador Eléctrico, es el equipo más importante del Sistema de Generación Principal, ya que es en ésta máquina donde se genera la energía eléctrica.

Este Generador, es una máquina síncrona, trifásica, 60 Hz, velocidad nominal 3 600 rpm, rotor de polos lisos (dos polos), enfriamiento a base de hidrógeno, conexión en estrella y factor de potencia de 0.9.

IV.1.2.- PRINCIPIOS DE OPERACION

Los Generadores Eléctricos, son máquinas utilizadas para convertir potencia mecánica en potencia eléctrica (en este caso de C.A.)

Los principios de funcionamiento de esta máquina, se basa en las siguientes leyes:

- 1.- Ley de Faraday ó "inducción"
- 2.- Ley de Lenz

Ley de Faraday

Esta ley establece: si en un flujo magnético es eslabonado por un circuito eléctrico cerrado, y varía con respecto al tiempo, una FEM (fuerza electromotriz) es inducida en el circuito. matemáticamente esto se expresa como:

$$e = \frac{d\phi}{dt}$$

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

En donde:

e.- Es el voltaje generado en una sola espira.

$d\phi$.- Es la diferencial de líneas de flujo magnético, que son entrelazados con la espira.

dt.- Es la diferencial de tiempo, en que son entrelaza, líneas de flujo magnético.

Ahora, si " ϕ " está dado en Maxwells ó líneas de flujo magnético la ecuación anterior queda:

$$e = \frac{d\phi}{dt} \times 10^{-8} \text{ Volts}$$

En donde:

10^{-8} .- Es el número de líneas de flujo, que una sola espira entrelaza cada segundo, a fin de inducir una tensión de un volt.

El termino: $\frac{d\phi}{dt}$ se puede obtener de dos maneras:

dt

- Por movimiento mecánico, que es el que tiene todas las máquinas rotatorias. (fig. 1)

- Cuando la excitación es variable con el tiempo, lo que ocurre con el transformador.

Ley de Lenz

Lenz, estableció que la FEM inducida es de tal sentido, que la corriente inducida se opone al cambio de flujo.

$$e = - \frac{d\phi}{dt}$$

Por lo tanto, Lenz lo que aportó, fue poner un signo de "menos" a la ley de Faraday.

De acuerdo a los principios de operación, vistos en el inciso anterior, y si consideramos una máquina bipolar con una bobina de una espira, cuya posición para diferentes instantes de tiempo. (fig. 2)

Tenemos que se induce una FEM, por el movimiento relativo entre el conductor (espiras) y el campo magnético.

Para obtener la ecuación de la FEM inducida, observamos la figura 2 (a), donde el flujo magnético total que es entrelazado por la bobina es cero y por lo tanto no hay FEM (plano de la espira, es perpendicular al campo magnético; ver figura 3, y por lo tanto la FEM inducida es cero).

En la figura 2 (b), la bobina empieza a entrelazar una parte del flujo magnético cuando ésta se movio un cierto ángulo " α ".

En la figura 2 (c), la bobina se ha desplazado 90° y el flujo entrelazado es máximo (plano de la espira, es paralelo al campo magnético).

Por lo tanto de las figuras 2 (a,b, y c). podemos deducir lo siguiente:

$$\text{entrelazado} = \phi \text{ total} \times \cos \alpha$$

Pero de la Ley de Faraday se sabe:

$$e = - \frac{d\phi}{dt} \times 10^{-8} \text{ Volts}$$

Entonces:

$$e = - \frac{d(\phi \text{ total} \times \cos \alpha) \times 10^{-8}}{dt}$$

$$e = - \phi \text{ total} \times (- \text{sen } \alpha) \times 10^{-8}$$

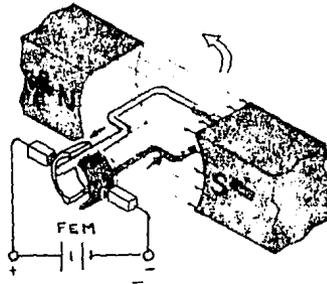


FIG. 1.- MOVIMIENTO RELATIVO ENTRE EL CAMPO MAGNETICO Y LA ESPIRA PARA PRODUCIR UNA "FEM"

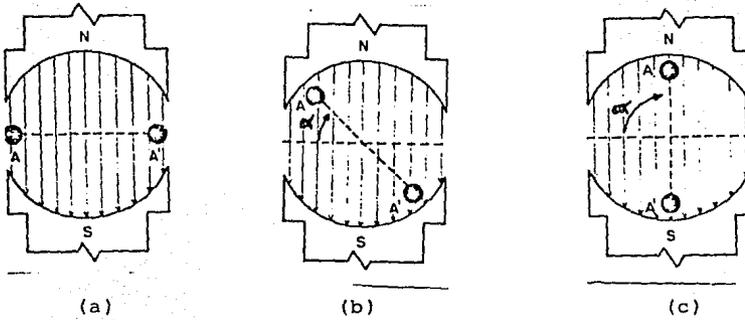


FIG. 2.- VISTA TRANSVERSAL DEL MOVIMIENTO DE UNA BOBINA DENTRO DE UN CAMPO MAGNETICO

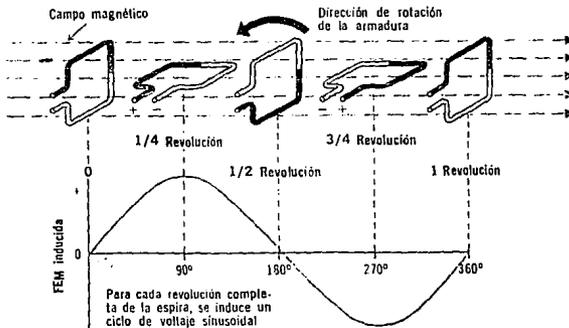


FIG. 3.- FORMA DE ONDA SENOIDAL QUE SE PRODUCE AL ROTAR LA ESPIRA DENTRO DE UN CAMPO MAGNETICO

De la figura 2 (c), observamos que para $\alpha = 90^\circ$, $\sin \alpha = 1$, y se tiene el valor máximo de la FEM inducida:

$$e_{\max} = \dot{\phi}_{\text{total}} \times 10^{-8} \text{ Volts}$$

Ahora, si la bobina gira una rotación completa, se genera un ciclo de salida sinusoidal. (fig. 3)

Por lo tanto se puede concluir de la figura 2 y 3 lo siguiente:

- En la figura anterior, cuando el plano de la bobina es perpendicular al campo magnético, los lados de la bobina pasan entre las líneas de flujo; por lo tanto no hay corte de líneas de flujo, y el voltaje inducido es nulo.
- Cuando el plano de la bobina es paralelo al campo magnético, sus lados cortan directamente las líneas de flujo; así el voltaje inducido es máximo.
- Esto sucede dos veces, durante cada rotación completa

Como el movimiento de la bobina es rotacional, entonces es proporcional a la velocidad con que son cortadas las líneas de flujo magnético, en base a esto, la ecuación de la FEM queda de la siguiente manera:

$$e_{\max} = \omega \phi_{\text{total}} \times 10^{-8} \text{ Volts}$$

Donde:

ω .- es la velocidad angular en radianes/segundo

Recordando:

$$\omega = 2 \pi f$$

Tenemos:

$$e_{\max} = 2 \pi f \phi_{\text{total}} \times 10^{-8} \text{ Volts}$$

Para obtener el valor eficaz de una onda senoidal (figura 3), se recordará que es: valor máximo es:

$$1.4142$$

Entonces:

$$e_{\text{eficaz}} = \frac{2 \pi f \phi_{\text{total}} \times 10^{-8}}{1.4142} = 4.44 f \phi_{\text{total}} \times 10^{-8} \text{ Volts}$$

La ecuación es válida, si la bobina es de una sola espira, pero si la bobina está formada de "N" espiras, entonces tenemos:

$$e_{\text{eficaz}} = 4.44 N f \phi \times 10^{-8} \text{ Volts.}$$

Pero, existe además otros dos factores que afectan a este voltaje eficaz, que son:

- 1) El factor de paso K_p
- 2) El factor de distribución K_d

Factor de paso K_d

Es una característica de construcción de la máquina síncrona, y por lo tanto su valor siempre es constante.

El factor de paso es la distancia entre los lados de una bobina; si ésta es igual a la distancia entre los polos adyacentes (fig. 4), ó sea 180° eléctricos, entonces se dice que la bobina es de "paso diametral". Bajo ésta condición, los voltajes generados, en ambos lados de la bobina están en fase.

Si la distancia entre los lados de la bobina es menor a 180° grados eléctricos, se dice que la bobina es de "paso fraccional" (fig. 5). Este tipo de devanado es más usado que el anterior, porque su voltaje se asemeja más a una onda senoidal, además que el voltaje generado no están en fase, en ambos lados de los lados de la bobina, y éste voltaje es menor que el producido por el devanado anterior.

La relación de voltaje generado en una bobina de "paso fraccional" con la de "paso diametral", es llamado: "factor de paso K_p " y su valor se calcula con la ecuación:

$$K_p = \text{sen} (p / 2)$$

Donde:

p.- es el ancho en grados eléctricos de la bobina.

Factor de distribución K_d

Cuando varias bobinas de un grupo, están conectadas en serie, generan un voltaje total, que es inferior, al voltaje de cada bobina, multiplicada por el número de bobinas de grupo. Porque las bobinas están desplazadas unas con respecto a otras, esto se debe a que están distribuidas en varias ranuras bajo un polo (fig. 6), en lugar de estar concentradas en una sola ranura.

La distribución de los devanados, en un gran número de ranuras, tiene el efecto de mejorar la onda de voltaje, aproximándose más a una onda senoidal.

El valor de "factor de distribución" se calcula de la ecuación:

$$K_d = \frac{\text{sen} (n d / 2)}{n \text{sen} (d / 2)}$$

Donde:

n.- Es el número de ranuras por fase por polo.

d.- Es el número de grados eléctricos entre ranuras adyacentes.

El "factor de paso K_d ", también es una característica de construcción de la máquina síncrona y por lo tanto su valor también es constante.

Definidos K_p y K_d la ecuación de la FEM indicada, queda de la siguiente manera:

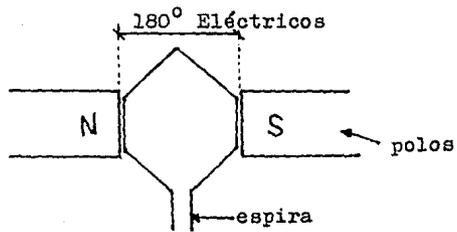


FIG. 4.- BOBINA DE PASO DIAMETRAL

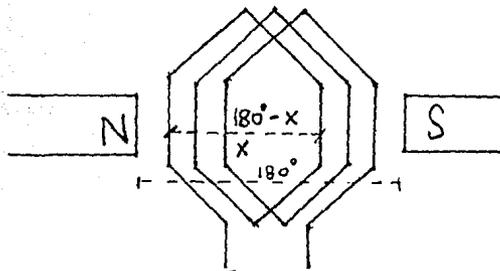


FIG. 5.- BOBINA DE PASO FRACCIONAL

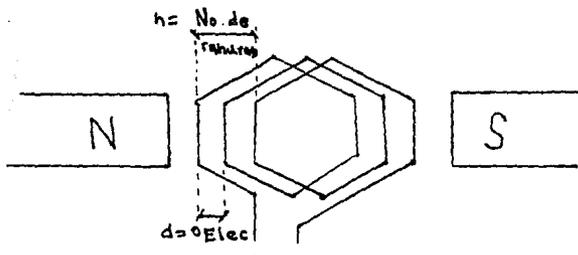


FIG. 6.- FACTOR DE DISTRIBUCION

$$e_{\text{eficaz}} = 4.44 \phi N f K_p K_d 10^{-8}$$

Si observamos ésta última ecuación, el voltaje inducido en una fase del estator e_{eficaz} , todos los parámetros son constantes, por ser características de construcción y operación de la máquina; a excepción de: el flujo magnético " ϕ " y la velocidad.

Reescribiendo la ecuación de una manera más sencilla, de tal manera que realce las magnitudes que son variables con respecto a las constantes.

$$e_{\text{eficaz}} = E_A = K \phi \omega$$

Donde:

$$K = \frac{N K_p K_d}{1.4142}$$

Esta K , depende únicamente de la construcción de la máquina y por lo tanto su valor no varía.

Entonces la tensión generada en la máquina, E_A (ahora así le llamaremos a e_{eficaz}), de una fase, es directamente proporcional al flujo ϕ y a la velocidad ω .

Si consideramos que la máquina síncrona es un Generador Eléctrico, y este funciona a una velocidad constante, entonces el único "parámetro variable" es el flujo ϕ .

IV.1.4.- VELOCIDAD DE ROTACION DE UN GENERADOR SINCRONO

Los generadores síncronos, son por definición, "síncronos", lo que significa que la frecuencia eléctrica está relacionada con la velocidad rotacional de la máquina y el número de polos de ésta.

El rotor de un generador síncrono, consiste en un electroímán, el cual es alimentado con C. D., para crear el flujo electromagnético; el valor de rotación del campo magnético (rotor), y la frecuencia eléctrica originada en el estator están relacionadas mediante la siguiente ecuación:

$$f = (P/2) \times (\text{rpm}/60) = (P \times \text{rpm}) / 120$$

Donde:

f.- Frecuencia eléctrica en Hz.

p/2.- número de pares de polos.

rpm/60.- velocidad en revoluciones por segundo del rotor.

IV.1.5.- CIRCUITO EQUIVALENTE

El voltaje E_A , normalmente no es igual al voltaje que aparece en las terminales (bushings) del Generador.

Únicamente la tensión generada E_A es igual al voltaje entregado por una fase V_ϕ , cuando no circula corriente por la armadura de la máquina.

Entonces para llegar al circuito equivalente del Generador síncrono, se explicará los factores que dan lugar a la diferencia entre E_A y V_ϕ los cuales son:

1. La distorsión del flujo magnético del entre-hierro causado por la corriente del estator I_A , llamada "reacción de armadura".
2. La reactancia en las bobinas de la armadura.
3. La resistencia de las bobinas de armadura.

Reacción de armadura

Cuando gira el rotor del Generador síncrono, se induce un voltaje E_A , en lo arrollamientos del estator, el cuál da lugar a la circulación de corriente I_A , cuando se conecta carga a las terminales de salida.

Al circular corriente I_A , por si misma, da lugar a otro campo magnético en la máquina, éste campo magnético del estator, distorciona el campo magnético original (producido en los polos del rotor), y trae como consecuencia la modificación del voltaje V_ϕ .

Este efecto se conoce como: reacción de armadura, debido a la corriente de armadura I_A (estator), que afecta al, campo magnético del rotor.

Para entenderlo mejor, en la figura 7 (a) está representado un rotor de dos polos, girando en un estator trifásico (generador con tres devanados en el estator), el cuál no se le a conectado carga.

El campo magnético del rotor B_R , induce una fuerza electromotriz (FEM) E_A , cuyo valor pico coincide con B_R .

Cuando el Generador está en vacío, no hay circulación de corriente de armadura I_A , y E_A es igual al voltaje terminal por fase V_ϕ .

Supongase que ahora se conecta al Generador una carga inductiva, debido a éste tipo de carga, el pico de la corriente de armadura, se atrasará al pico de voltaje de armadura. (fig. 7 (b))

La corriente que circula por el arrollamiento del estator, produce un campo magnético en el estator B_S , cuya dirección se determina por la regla de la mano derecha y aparece en la figura 7 (c)

Este campo magnético, engendra el voltaje de reacción de armadura: E_{est} , también en el estator.

Por lo tanto como están presentes dos voltajes en el estator, el voltaje resultante de una fase V_ϕ , será la suma de la tensión generada E_A y el voltaje de reacción de armadura E_{est} :

$$V_\phi = E_A + E_{est} \dots\dots\dots 1$$

El campo magnético resultante B_{net} , corresponde a la suma de los campos magnéticos del rotor y estator:

$$B_{net} = B_R + B_S \dots\dots\dots 2$$

Como los ángulos de E_A y de B_R son los mismos, así como también los ángulos de E_{est} y de B_S , el campo magnético resultante B_{net} coincide con el voltaje de fase V_ϕ , (fig. 7 (d))

Observando la figura 7 (c) y 7 (d), el voltaje E_{est} , se atrasa 90° del plano coincidente con el valor máximo de la corriente I_A . Además éste voltaje E_{est} es directamente proporcional a la corriente I_A .

Si consideramos a "X" una constante de proporcionalidad, entonces el voltaje de reacción de armadura E_{est} , puede expresarse:

$$E_{est} = -j X I_A \dots\dots\dots 3$$

Sustituyendo 3 en 1, el voltaje de fase es:

$$V_\phi = E_A - j X I_A \dots\dots\dots 4$$

La tensión de la reacción de armadura, puede modelarse como una inductancia en serie con la tensión generada E_A , (fig. 8)

Reactancia y Resistencia de armadura

Además de los efectos de reacción de armadura, las bobinas del estator presentan: "reactancia" y "resistencia", que también afectan al voltaje V_ϕ .

Si se denomina por X_A la reactancia y R_A por la resistencia de los devanados del estator, entonces la resistencia total entre E_A y V_ϕ , está dada por la ecuación:

$$V_\phi = E_A - j X I_A - j X_A I_A - R_A I_A \dots\dots\dots 5$$

Tanto los efectos de la reacción de armadura, como de reactancia, también de armadura, se pueden representar por medio de la reactancia síncrona X_S , esto es:

$$X_S = X + X_A \dots\dots\dots 6$$

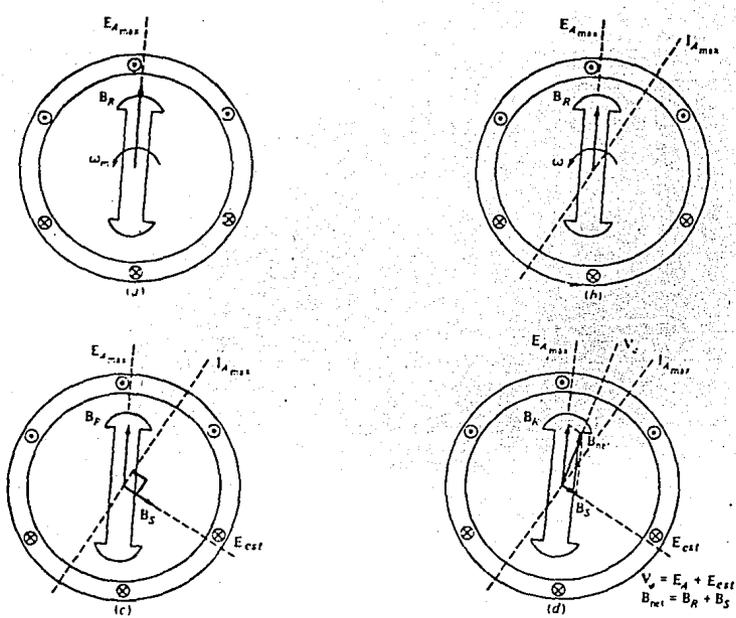


FIG. 7.- DESARROLLO DEL MODELO DE LA REACCION DE ARMADURA

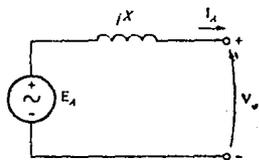


FIG. 8.- CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA REACCION DE ARMADURA

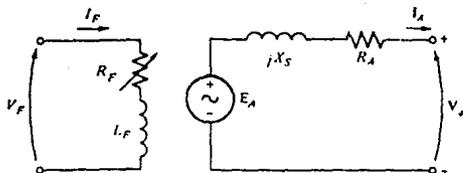


FIG. 9.- CIRCUITO EQUIVALENTE COMPLETO DEL GENERADOR SINCRONO

Donde:

X.- reactancia de reacción de armadura.

X_A - reactancia del devanado de armadura.

Sustituyendo 6 en 5 tenemos que el voltaje por fase V_ϕ es:

$$V_\phi = E_A - j X_S I_A - R_A I_A \dots\dots 7$$

Ahora es cuando se puede dibujar el circuito equivalente del Generador sincrónico, junto con su fuente de C. D. (dibujando sólo una de sus fases, pues se considera que el Generador está balanceado). (fig. 9)

IV.1.6.- TIPO DE CONEXIONES

Un Generador que entrega voltaje trifásico (como en el caso de todos los Generadores síncronos de CFE), es por tener (3) tres devanados en el estator, y cada devanado constituye una fase, que produce voltajes y corrientes idénticos con respecto a las otras dos fases, la única diferencia es el ángulo de 120° de desplazamiento de voltajes y corrientes, con respecto también a las otras fases.

Existen sólo (2) dos tipos de conexiones entre los tres devanados:

1. Conexión estrella "Y". (fig. 10 (a))

2. Conexión delta " Δ ". (fig. 10 (b))

Según el tipo de conexión que se haga en los devanados, tanto los voltaje por fase V_ϕ , como el voltaje terminal V_T ; así como la corriente de armadura I_A y la corriente de línea I_L , cumplen con las siguientes relaciones:

Conexión estrella:

- para voltaje $V_T = 1.7071 V_\phi$

- para corriente $I_A = I_L$

Conexión delta:

- para voltaje $V_T = V_\phi$

- para corriente $I_L = 1.7071 I_A$

IV.1.7.- PAR Y POTENCIA

Como se dijo anteriormente, un Generador Eléctrico es una máquina que convierte potencia mecánica en eléctrica.

La potencia mecánica es suministrada por el "primotor" (puede ser un motor diesel, turbina hidráulica ó turbina de vapor),

Cualquiera que sea la fuente, debe tener la capacidad de mantener constante la velocidad del Generador, a pesar de que cambie la carga; por la relación que existe entre la velocidad y frecuencia del Generador, puesto que de otra manera, la frecuencia del sistema de potencia sería errónea.

No toda la potencia mecánica que entra al Generador, sale como potencia eléctrica.

La diferencia entre la potencia de entrada y de salida en el Generador, corresponden a las pérdidas de este. (fig. 11)

La potencia mecánica en la entrada, es la potencia que se aplica al eje del Generador:

$$P_{ent} = \tau_{apl} \cdot \omega = P_{sal} + P_{per. \text{ mec.}} + P_{per. \text{ nuc.}} + P_{per. \text{ ete.}} + P_{per. \text{ par.}}$$

Donde:

P_{ent} - potencia de entrada.

τ_{apl} - par aplicado.

ω .- velocidad de la máquina.

Mientras que la potencia mecánica convertida en potencia eléctrica se expresa por:

$$P_{conv} = \tau_{ind} \omega = 3 E_A I_A \cos \gamma \dots\dots\dots 1$$

Donde:

P_{conv} - potencia convertida.

τ_{ind} - par inducido.

γ - ángulo formado entre el voltaje generado E_A y la corriente de armadura I_A .

La diferencia entre la potencia que entra al Generador y la potencia transformada por el mismo, corresponde a las pérdidas mecánicas y a las pérdidas en el núcleo de la máquina

La potencia real, que entrega un Generador, puede expresarse en magnitudes de "línea" como:

$$P_{sal} = 1.7071 V_T I_L \cos \theta \dots\dots\dots 2$$

y en magnitudes de "fase" por:

$$P_{sal} = 3 V_\phi I_A \cos \theta \dots\dots\dots 3$$

La potencia reactiva a la salida, en magnitudes de "línea":

$$Q_{sal} = 1.7071 V_T I_L \sin \theta \dots\dots\dots 4$$

y en magnitudes de "fase":

$$Q_{sal} = 3 V_{\phi} I_A \sin \theta \dots\dots\dots 5$$

Donde:

θ .- es el ángulo entre V_{ϕ} e I_A .

Si se desprecia la resistencia de la armadura R_A (dado que en practica $X_S \gg R_A$), y observando el diagrama fasorial de la figura 12 (por medio de relaciones trigonométricas), se puede hallar una ecuación muy útil para evaluar la potencia de salida.

$$I_A \cos \theta = \frac{E_A \sin \delta}{X_S} \dots\dots\dots 6$$

6 en 3 , tenemos:

$$P_{sal} = \frac{3 V_{\phi} E_A \sin \delta}{X_S} \dots\dots\dots 7$$

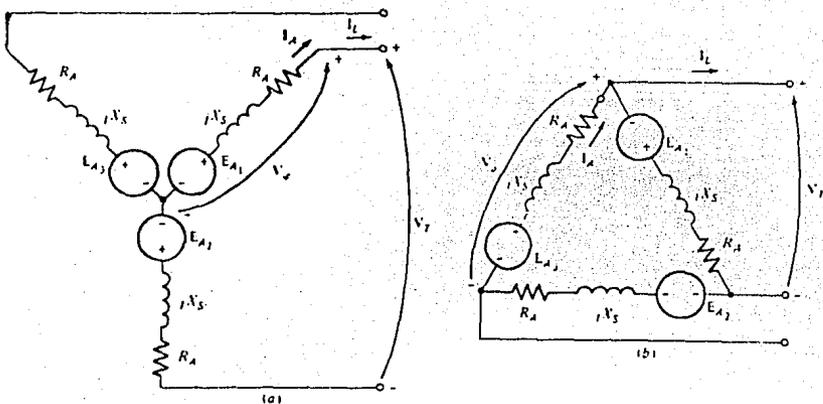
Como en la ecuación anterior ha sido despreciada la resistencia R_A , significa que no hay pérdidas eléctricas en el Generador ó son mínimas, entonces $P_{con} = P_{sal}$.

En la ecuación 7 nos indica que la potencia producida por un Generador síncrono depende del ángulo δ , entre V_{ϕ} y E_A .

haciendo notar que la potencia máxima que puede suministrar el Generador corresponde cuando $\delta = 90^\circ$, entonces $\sin \delta = 1$.

$$P_{max} = \frac{3 V_{\phi} E_A}{X_S} \dots\dots\dots 8$$

Observando nuevamente las ecuaciones: 3, 4 y 7; y tomando constante V_{ϕ} , tenemos:



a) ESTRELLA

b) DELTA

FIG. 10.- TIPOS DE CONEXIONES EN UN GENERADOR

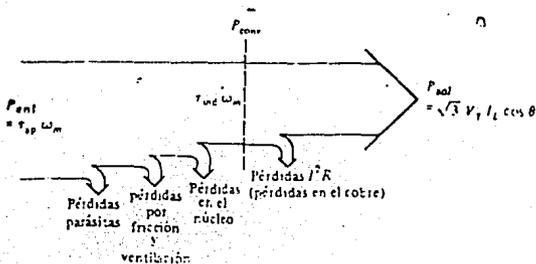


FIG. 11.- DIAGRAMA DE FLUJO DE POTENCIAS DEL GENERADOR

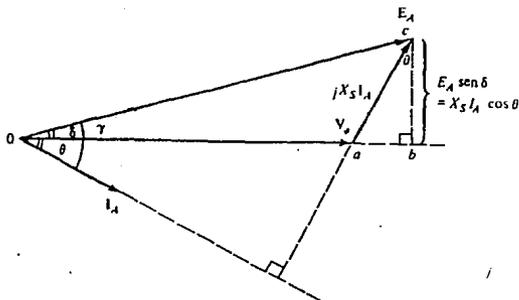


FIG. 12.- DIAGRAMA FASORIAL DE UN GENERADOR EN EL CUAL NO SE TOMA EN CUENTA LA RESISTENCIA DE ARMADURA R_A

"La potencia real entregada por el Generador, es directamente proporcional a las magnitudes de $I_A \cos \theta$ y $E_A \sin \delta$ ".

"La potencia reactiva es directamente proporcional a $I_A \sin \theta$ ".

De la ecuación 1 y 7, para calcular el par inducido τ_{ind} que es:

$$\tau_{ind} = \frac{3 V_{\phi} E_A \sin \delta}{\omega X_S}$$

Que es otra forma de calcular el par inducido, pero usando variable eléctricas, así como la velocidad de la máquina.

IV.1.8.- CURVAS DE CAPABILIDAD

Los límites de calentamiento del estator y rotor, junto con cualquier otra limitante externa, que exista sobre el Generador, puede representarse mediante el "diagrama de potencias", llamado comunmente: curvas de capacidad.

Las curvas de capacidad es el grafico de la potencia compleja: $S = P + jQ$, que se deriva del diagrama fasorial del Generador, suponiendo que V_{ϕ} , se mantiene constante, en el valor nominal de la máquina. (fig. 13 a)

En éste diagrama fasorial, el Generador está trabajando con un factor de potencia inductivo, en el extemo de V_{ϕ} , se ha trazado un sistema de coordenadas rectangulares, cuyos ejes están marcados en voltios, sobre dicho diagrama, el segmento vertical AB, tiene una longitud:

$X_S I_A \sin \theta$, para el segmento horizontal OA, $X_S I_A \cos \theta$.

La potencia activa entregada por el Generador es:

$$P = 3 V_{\phi} I_A \cos \theta$$

La potencia reactiva entregada corresponde a:

$$Q = 3 V_{\phi} I_A \text{ sen } \theta$$

y la potencia aparente en la salida del Generador es:

$$S = 3 V_{\phi} I_A$$

Los ejes de la figura 13 a, pueden ser recalibrados, en unidades de potencia real y reactiva. (fig. 13 b)

El factor de conversión requerido para cambiar los ejes de volts a unidades de potencia (volt-amperio) es: $3 V_{\phi} / X_S$, por lo tanto tenemos:

$$P = 3 V_{\phi} I_{\phi} \cos \theta = (3 V_{\phi} / X_S) \times (X_S I_A \cos \theta)$$

$$Q = 3 V_{\phi} I_{\phi} \text{ sen } \theta = (3 V_{\phi} / X_S) \times (X_S I_A \text{ sen } \theta)$$

Respecto a los ejes de voltaje, el origen del diagrama fasorial queda a: $(- V_{\phi})$ sobre el eje horizontal; por lo tanto, sobre el eje de potencias dicho origen está en :

$$Q = (3 V_{\phi} / X_S) \times (- V_{\phi}) = (- 3 V_{\phi}^2 / X_S)$$

La corriente de campo I_F , es proporcional al flujo ϕ de la máquina, y éste flujo es proporcional a: $E_A = K \phi \omega$.

La longitud correspondiente a E_A , en el diagrama de potencias es:

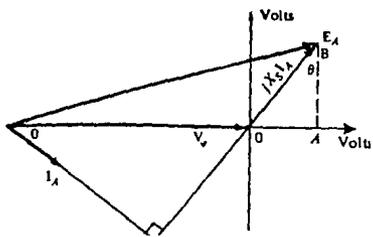
$$D_E = (3 E_A V_{\phi} / X_S)$$

La corriente de armadura I_A , es proporcional a $X_S I_A$.

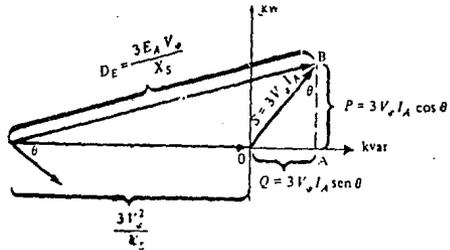
La longitud correspondiente a $X_S I_A$, en el diagrama de potencias es:

$$3 V_{\phi} I_A$$

La curva final de capacidad de carga del Generador, aparece en la figura 14; consiste en una grafica de P vs Q , en donde la potencia activa está sobre el eje horizontal y la potencia reactiva sobre el eje vertical.



a) UNIDADES DE VOLTS



b) CONVERSION A UNIDADES DE POTENCIA

FIG. 13.- DIAGRAMA FASORIAL DE UN GENERADOR

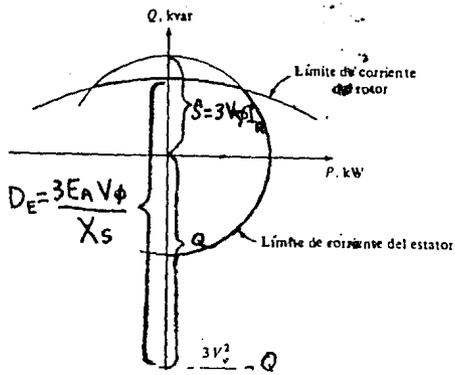


FIG. 14.- CARACTERISTICA DE CAPABILIDAD DEL GENERADOR

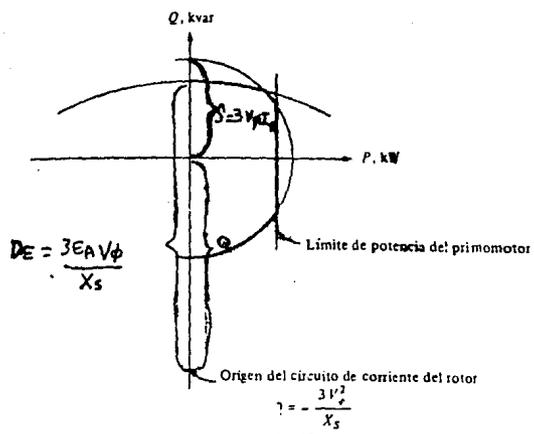


FIG. 15.- DIAGRAMA DE CAPABILIDAD SOBRE EL CUAL SE HA PRESENTADO EL LIMITE DE POTENCIA DEL PRIMOTOR

: =369899 KVA IN H₂ A 310 12 KPA @ 3600 rpm *SOVREPRESSIONE
 OVERPRESSURE
 COMPRESION
 MIN. CORRENTE ECC. 2000 A H₂ 310 *KPA- 399999 KVA-20000 V-60.CHZ-0.90PF PC T.APB.
 MAX. EXC. CURRENT 2577 A H₂ 206 *KPA- 330355 KVA-20000 V-60.CHZ-0.90PF PC T.APB.
 MIN. INTENSITA' EXC. 2175 A H₂ 103 *KPA- 252775 KVA-20000 V-60.CHZ-0.90PF PC T.APB.
 A H₂ *KPA- KVA- V- HZ- PF PC T.APB.

MIN. CORRENTE ECC. (LIMITE RISCALDAMENTO PARTI TERMINALI STATORE)
 MIN. EXC. CURRENT (LIMIT BY ARMATURE CORE END HEATING)
 MIN. INTENSITA' EXC. (LIMITE ESCHAUFFEMENT EXTREMITES STATORI)

CAPABILITY CURVES
 VARIAZIONE DELLA POTENZA IN FUNZIONE DEL P.F.
 DIAGRAMME DE PUISSANCE ACTIVE-REACTIVE

ESTIMATED VALUES
 VALORI DI CALCOLO
 VALEURS DE CALCUL

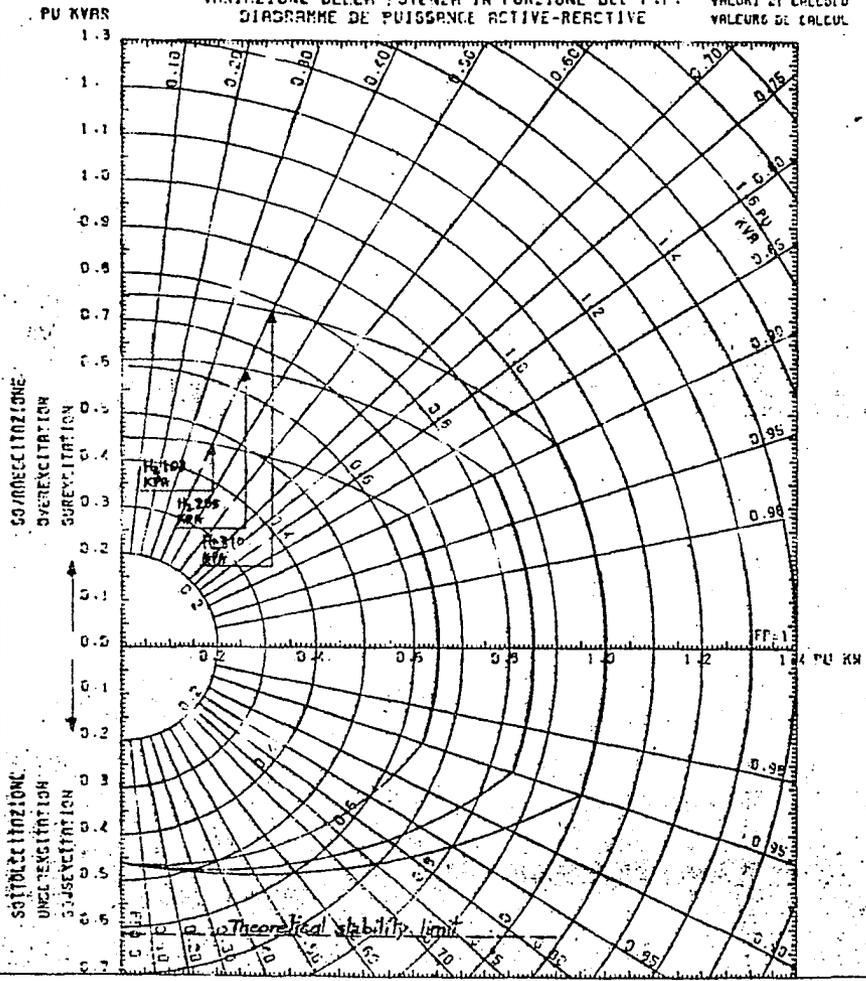


FIG. 16.- DIAGRAMA DE CAPABILIDAD DEL GENERADOR DE 350 MW DE LA
 C. T. PETACALCO

Las líneas de corriente de armadura I_A constantes, aparecen como líneas de $S = 3 V_\phi I_A$ constante, las cuales corresponden a círculos concéntricos, con centro en el origen.

Las líneas de corriente de campo I_F constantes, corresponden a líneas de E_A constantes, las cuales se indican como círculos de magnitud: $E_A V_\phi / X_S$, con centro en el punto:

$$Q = (-3 V_\phi^2 / X_S)$$

El límite de la corriente de armadura I_A , aparece como el círculo de I_A nominal de kilovolt amperios nominales; y el límite de la corriente de campo aparece como el círculo correspondiente a los valores nominales de I_F ó de E_A .

Cualquier punto ubicado dentro de estos dos círculos corresponde a puntos de funcionamiento seguro para el Generador.

Sobre el diagrama también puede indicarse otras restricciones, tales como la potencia máxima del primotor, los niveles máximos y mínimos de excitación a la cuál podemos someter el Generador sin sobrecalentarlo ó sacarlo de estabilidad.

En la figura 15 se presenta las curva de capacidad, que incluye la presentación de la potencia máxima del primotor. Un aspecto fundamental de la curva de capacidad, es que nos indica los límites máximos y mínimos de excitación.

En la figura 16 se presenta la curva de capbilidad del Turbogenerador de la C. T. Petacalco.

IV.1.9.- FUNCIONAMIENTO EN PARALELO

En el mundo de hoy, es muy rara la existencia, de un sólo Generador, que de manera aislada alimente su propia carga; y en la C. T. Petacalco no es la excepción, ya que las unidades generadoras están conectadas en paralelo y a su vez alimentando al Sistema Eléctrico Naconal.

Existen varias ventajas principales para ésta forma de funcionamiento:

1. Varios Generadores, pueden alimentar mayor carga, que una sólo unidad.
2. El tener muchos Generadores conectados en paralelo, posibilita la desconexión de uno ó más de ellos para practicarles mantenimiento preventivo.
3. El tener muchos Generadores aumenta la confiabilidad del sistema de potencia, puesto que la falla de uno de ellos no provoca la pérdida total de la potencia de la carga.

IV.1.9.1.- CONDICIONES PARA LA CONEXION EN PARALELO

Si suponemos a un Generador G_1 , alimentando una carga, y un segundo Generador G_2 , dispuesto a ser conectado en paralelo con G_1 mediante el interruptor S_1 , (fig. 17)

Si el interruptor fuera cerrado arbitrariamente en cualquier instante , los Generadores estarían expuestos a graves daños y la carga perdería el suministro de potencia.

Si los voltajes en los conductores que se conectan entre sí, y no son exactamente los mismos, se establecerán corrientes muy grandes al cerrar el interruptor. Por lo tanto, para evitar estos problemas debe cumplirse con las siguientes condiciones:

1. Los valores eficases de los voltajes de línea de los Generadores deben ser iguales.
2. Los dos Generadores, deben tener la misma secuencia de fase. (es decir secuencia (+) ó secuencia (-))
3. Los ángulos de fase, de las dos fases a y a' deben ser iguales
4. La frecuencia del nuevo Generador, llamado. "Generador entrante", debe ser ligeramente mayor, que la frecuencia del sistema.

La frecuencia de los Generadores, debe ser muy semejante, pero no exactamente iguales, con el proposito de que los ángulos de fase de la máquina entrante varíen lentamente con relación a los ángulos de fase del sistema.

De ésta manera es posible observar los ángulos entre los voltajes y llegar a cerrar el interruptor S_1 en el instante en que los dos sistemas estén exactamente en fase.

IV.1.9.2.- CARACTERISTICA FRECUENCIA-POTENCIA REAL Y VOLTAJE-POTENCIA REACTIVA

Todos los Generadores son accionado por el "primotor", el cuál es la fuente de potencia mecánica del Generador.

En la C. T. Petacalco la fuente de potencia mecánica es el Turbina de Vapor, pero independientemente de la forma original de la fuente de potencia, todas las máquinas motrices, tienden a comportarse en forma similar:

Cuando aumenta la carga , disminuye su velocidad de rotación, ésta disminución de velocidad, en general no es lineal, pero se cuenta con dispositivos que hacen lineal el descenso de velocidad con respecto del aumento de carga.

Cualquiera que sea el tipo de mecanismo gobernador del primotor, siempre se ajusta de manera que produzca una característica ligeramente descendente cuando la carga aumenta, está caída de velocidad puede variar de un 2 a 4 % de la velocidad nominal.

Ahora, si un Generador se conecta en paralelo con otro del mismo tamaño, el sistema resultante es como la figura 21, en el cuál la restricción básica señala que: "la suma de las potencias real y reactiva entregadas por dos Generadores deben ser iguales a P y Q demandadas por la carga.

La frecuencia del sistema, no queda limitada a mantenerse constante, como tampoco queda limitada a ser constante la potencia de un determinado Generador.

.La potencia total P_{tot} se expresa por:

$$P_{tot} = P_{carga} = P_{G1} + P_{G2}$$

y la potencia reactiva total mediante:

$$Q_{tot} = Q_{carga} = Q_{G1} + Q_{G2}$$

Resuminado, cuando se tienen dos Generadores en paralelo, se tienen las siguientes características:

1. El sistema queda restringido, a que la potencia total que aporten los dos Generadores sea igual a la magnitud consumida por la carga.

Ni la frecuencia del sistema f_{sis} , ni el voltaje terminal V_T , se ven limitados a permanecer constantes.

2. Para justar el reparto de potencia real entre los Generadores, sin variar la frecuencia del sistema f_{sis} , simultáneamente se debe aumentar la posición del gobernador de algún Generador, mientras que se disminuye el del otro. Por lo tanto, la máquina cuya posición del gobernador fue aumentada tomará más carga.

3. Para ajustar " f_{sis} ", sin variar la repartición de potencia real, simultáneamente deben aumentarse ó disminuirse las posiciones de ambos gobernadores.

4. Para ajustar el reparto de potencia reactiva entre los Generadores, sin modificar el voltaje terminal V_T , simultáneamente debe modificarse la corrientes de campo I_f de un Generador y disminuir la del otro.

La máquina cuyo corriente de campo fué aumentado, toma más carga reactiva.

5. Para ajustar " V_T ", sin modificar el reparto de potencia reactiva, deben aumentarse ó disminuirse simultáneamente las corrientes de campo I_f de ambos Generadores.

IV.2.0.- SISTEMAS AUXILIARES DEL GENERADOR

Para un buen funcionamiento de un Generador es necesario la intervención de los siguientes sistemas:

1.- Sistema de Enfriamiento del Generador

2.- Sistema de Aceite de Sellos

3.- Sistema de Enfriamiento de Hidrógeno y Aceite de Sellos

Sistema de Enfriamiento del Generador

El medio de enfriamiento para los Generadores de la C. T. Petcalco, es el hidrógeno, que es impulsado por un ventilador axial, el cual está montado sobre el rotor, en su extremo lado Turbina.

Este ventilador tiene la función de hacer circular el hidrógeno, en el interior del Generador y a través de los enfriadores, ésta circulación favorece la transferencia de calor, de los devanados al hidrógeno y de éste a los enfriadores; de ésta forma se logra mantener la temperatura de los devanados entre los límites normales de operación.

Empleando hidrógeno se aumenta la vida de los aislamientos, ya que no hay producción de ozono y óxidos nitrosos, por efecto corona.

Se evita la humedad y el polvo, en pasajes de ventilación; además en caso de emergencia, es posible aumentar la potencia de salida, sin aumentar la temperatura del embobinado: subiendo la presión del hidrógeno, ya que con el aumento de presión, aumenta la densidad del gas, y por lo tanto, su capacidad de absorción de calor.

Sistema Aceite de Sellos

Para evitar que el hidrógeno, contenido en el Generador, escape hacia el exterior, y provoque una explosión (ya que una mezcla que tenga 30 % de contenido de hidrógeno en aire, es altamente explosiva).

Aunado a que éste gas, tiene una velocidad de difusión muy alta (aproximadamente 4 veces mayor que la del aire), esto significa que es un gas que se difunde o escapa con mucha facilidad, a través de pequeños pasos, por lo tanto es necesario éste sistema.

El sistema de sellado se divide en dos circuitos:

- Circuito de sellado de aire
- Circuito de sellado lado hidrógeno

Circuito de sellado lado aire .- El suministro de aceite, para el circuito de sellado del Generador lado aire, es proporcionado normalmente por la bomba de aceite de sellos (lado aire), impulsada por un motor de C. A. (fig. 18)

En su trayecto, el aceite de sellos, pasa a través de un enfriador de agua, donde cede el calor que absorbio de los sellos del Generador.

Al salir el aceite del enfriador, se hace pasar a través de un filtro que elimina impurezas que contiene.

Posteriormente el aceite, se dirige al anillo de sellos lado aire del Generador; una vez ya pasado por los sellos, el aceite a su retorno, lo hace en forma conjunta con el aceite de lubricación de las chumaceras del Generador, y es descargado en el tanque "desgasificador".

Del Tanque Desgasificador, se alimenta la succión de las bombas lado aire.

El funcionamiento del circuito de sellos lado aire, se complementa con la operación de la bomba de respaldo de C. D., lo cuál entrará en operación, cuando la presión diferencial entre el aceite de sellos y el hidrógeno, se reduzca a un cierto valor.

Circuito de sellado lado hidrógeno.- El suministro de aceite para el circuito de sellado del Generador lado hidrógeno, es proporcionado por la bomba de aceite de sellos (lado hidrógeno).(fig, 19)

En su trayecto, el aceite de sellos lado hidrógeno, pasa a través de un enfriador y de un filtro (como en el circuito anterior).

Al salir del filtro, el aceite pasa por las válvulas reguladoras, las cuáles se encargan de igualar la presión del aceite de sellos lado hidrógeno con la presión de aceite de sellos lado aire.

El aceite, ahora llega al anillo de sello por el lado hidrógeno, para caer por gravedad, a los tanques despumantes y de ahí por derrame, pasa al tanque regulador de drenes, donde succiona la bomba de aceite de sellos lado hidrógeno.

Sistema de Enfriamiento de Hidrógeno y Aceite de Sellos

Debido a la gran cantidad de calor, que absorbe el aceite en los sellos, y el hidrógeno en el Generador, es indispensable, que cada uno de estos fluidos (aceite e hidrógeno), cuenten con su propio sistema de enfriamiento, para transferir el calor absorbido.

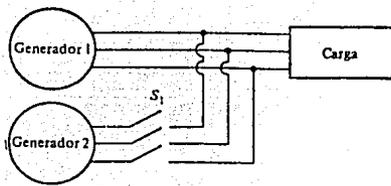


FIG. 17.- CONEXION EN PARALELO DE UN GENERADOR A OTRO A UN SISTEM DE POTENCIA

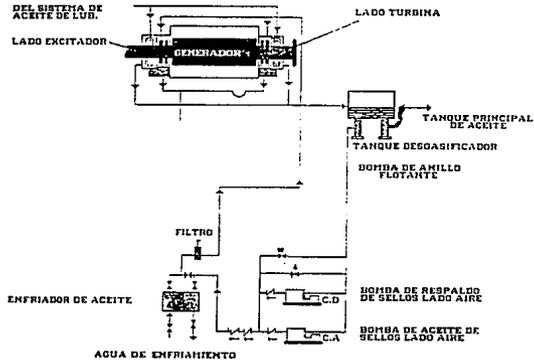


FIG. 18.- DIAGRAMA SIMPLIFICADO CIRCUITO ACEITE DE SELLOS LADO AIRE

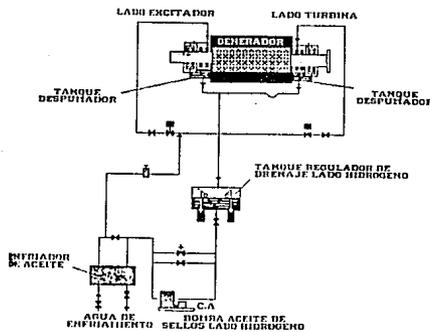


FIG. 19.- DIAGRAMA SIMPLIFICADO CIRCUITO ACEITE DE SELLOS LADO HIDROGENO

Para realizar esta función, el aceite de sellos, cuenta con (2) dos enfriadores y el hidrógeno con (4) cuatro.

A todos los enfriadores mencionados, se les alimenta agua de enfriamiento, la cuál es suministrada por el sistema de enfriamiento de auxiliares.

Tanto la temperatura del aceite de sellos, como la del hidrógeno, se debera mantener a 40 ° C a la salida de los enfriadores.

IV.2.- SISTEMA DE EXCITACION

IV.2.1.- ASPECTOS GENERALES

Como se vio en el inciso anterior, donde se hablo del Generador Síncrono; en donde se hablo que para producir un voltaje generado E_A , es necesario suministrar a las bobinas del rotor, corriente directa, para producir un "campo magnético constante".

Además se vio, que éste voltaje generado E_A , al conectarle carga a las terminales del Generador, éste se modificaba; con lo que se llevo a la ecuación:

$$V_T = E_A - j X_S I_A - R_A I_A$$

Donde:

V_T .- voltaje terminal en el Generador

E_A .- voltaje generado

$X_S I_A$.- caída de voltaje por reacción de armadura

$R_A I_A$.- caída de voltaje por resistencia de armadura

El voltaje terminal V_T tiende a cambiar, conforme cambia la carga; en un histograma en donde la demanda de carga vemos que está no es constante y se modifica con respecto al tiempo. Entonces se busca que V_T permanezca constante.

Por lo tanto, para que un Generador pueda generar a E_A , y mantener constante a V_T ; necesita de un sistema, el cuál recibe el nombre de: Sistema de Excitación.

En la figura 1 se muestra el diagrama simplificado del Sistema de Excitación.

IV.2.2.- INTRODUCCION

El "Sistema de Excitación" de un Generador, se entiende como el conjunto de todos los componentes y equipos que generan y regulan la corriente directa C. D., que alimentan al circuito de campo de la máquina (rotor).

En la figura 4 se observa a los anillos rozantes del Generador Eléctrico, que a través de las escobillas alimentan de C. D. al rotor.

El Sistema de Excitación, del cuál hablaremos es del tipo: estático, es decir que no contiene partes móviles y por lo tanto es completamente tiristorizado (SCR)(fig. 2 y 3).

La función de un Sistema de Excitación son los siguientes puntos:

1. Suministrar la energía necesaria para la alimentación del circuito de campo de la máquina.
2. Regular automáticamente la tensión V_T , en los bornes del Generador.
3. Consentir el funcionamiento en paralelo de los Generadores.

Para el estudio del Sistema de Excitación, lo dividiremos en sus componentes principales los cuáles son:

- Transformador de Excitación
- Regulador de Voltaje
- Rectificador (Unidad de Conversión)
- Interruptor de campo

En la figura 5, se presenta el tablero de mando del Sistema de Excitación, de la C. T. Petacalco (aquí se encuentran los 3 últimas componentes principales).

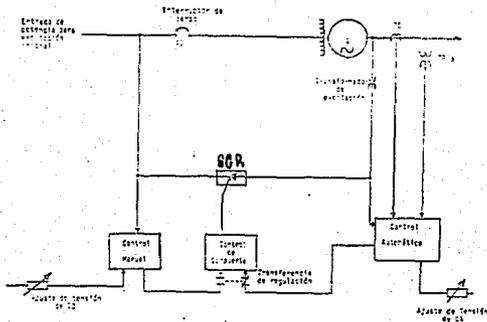


FIG. 1.- DIAGRAMA SIMPLIFICADO DEL SISTEMA DE EXCITACION (RECTIFICACION A BASE DE TIRISTORES)

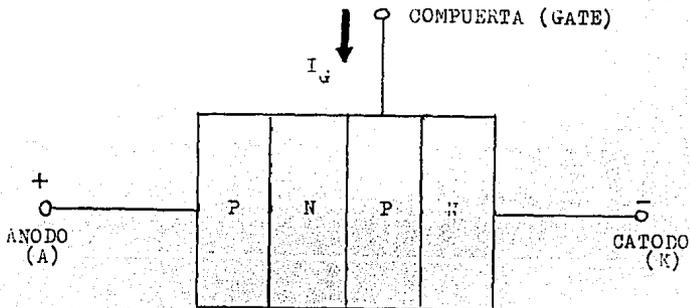


FIG. 2.- ESTRUCTURA DEL TIRISTOR

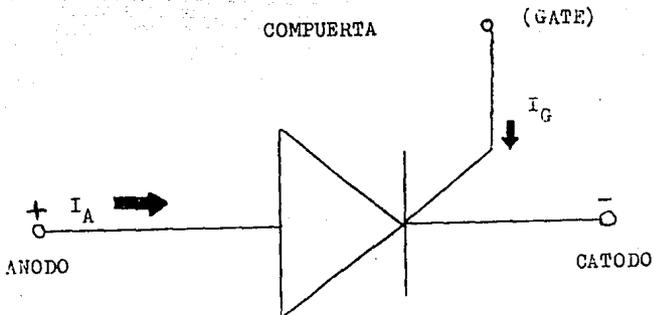


FIG. 3.- REPRESENTACION SIMBOlica DEL TIRISTOR

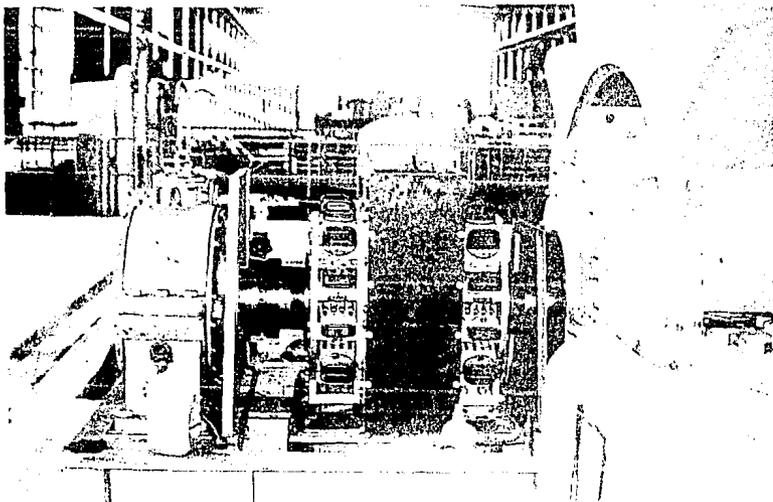


FIG. 4.- ALIMENTACION DE C. D. AL ROTOR POR MEDIO DE ESCOILLAS A TRAVES DE ANILLOS ROZANTES

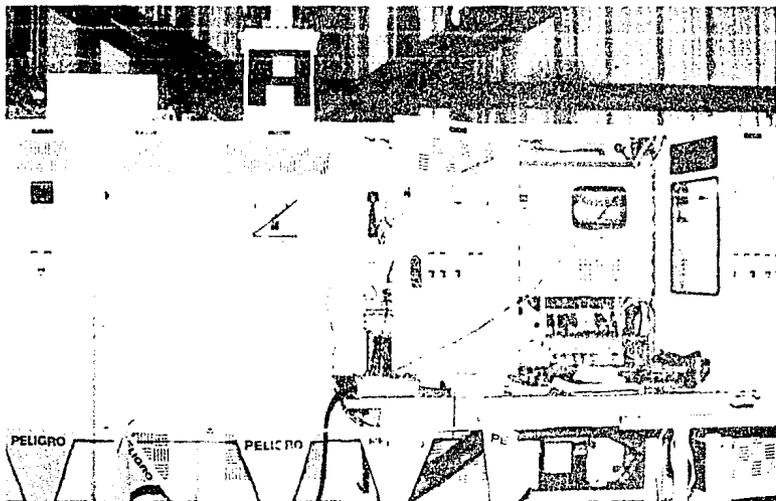


FIG. 5.- GABINETE DE CONTROL Y RECTIFICACION DEL SISTEMA DE EXCITACION DE LA C. T. PETACALCO

DATOS TECNICOS DE LA EXCITADORA

Fabricante	ANSALDO COMPONENTI (ITALIA)
Voltaje nominal	430 VCD
Coriente nominal	3 350 ACD
V_{ceiling} positivo	720 VCD
V_{ceiling} negativo	570 VCD

IV.2.3.- TRANSFORMADOR DE EXCITACION

El Sistema de Excitación aparte de ser del tipo estático. tambien es del tipo: autoalimentado, ya que la energía que recibe (para convertirla) es del propio Generador.

Para lograr esto, el Transformador de Excitación, está conectado al Generador por el lado de alta tensión, por medio del Bus de Fase Aislada, donde le llega un voltaje de 20 KV, y en el secundario sale con un valor de 650 V, este voltaje secundario alimenta al Puente Rectificador de onda completa (a base de tiristores).

Los datos tecnicos de éste transformador son los siguientes:

TRANSFORMADOR DE EXCITACION (3 ϕ)

Marca	ASEA
Potencia	3 100 KVA
Tensión primaria	20 KV
Tensión secundaria	650 V
Conexión	Y / Δ
Tipo de enfriamiento	OANA

IV.2.4.- REGULADOR DE VOLTAJE

INTRODUCCION

Cuando un Generador está en funcionamiento y alimentando a un carga, normalmente es deseable que el voltaje terminal V_T del Generador permanezca constante (ya que al cambiar la carga, cambia también este voltaje).

Para mantener constante a V_T , la manera más adecuada es variando el voltaje generado E_A ; recordando en el inciso anterior del Generador Eléctrico, en donde se llegó a la ecuación del voltaje generado: $E_A = K \phi \omega$.

Donde:

K.- constante de construcción del Generador (no se puede modificar)

ω .- está en función de la frecuencia del sistema (no se puede modificar)

Entonces E_A unicamente puede modificarse regulando el flujo " ϕ " de la máquina.

Suponiendo que al Generador, se le adiciona una carga inductiva, el voltaje terminal V_T , descenderá, para restablecer el valor del voltaje original, se hace lo siguiente:

1. Incrementar la corriente de campo I_F , que trae como consecuencia un aumento en el flujo ϕ , en la máquina.

2. Este aumento de flujo, eleva el voltaje interno generado E_A .

Al aumentar E_A , se incrementa también el voltajes en terminales V_T .

El procedimiento, también puede invertirse a fin de disminuir el votale terminal V_T , si es que se le adicionará al Generador una carga capacitiva.

Por lo tanto, así es como se regula el voltaje terminal V_T del Generador, sometido a cargas variables: simplemente variando la corriente de campo I_F .

DESCRIPCION DEL SISTEMA

Este dispositivo está constituido por una serie de circuitos electrónicos (básicamente de control), de acción continua, constituido por elementos modulares extraíbles (fichas); se utiliza componentes puestos a disposición de las tecnologías del estado sólido más avanzadas (chips), y está estudiada para regular el voltaje del Generador con diferentes condiciones y tipos de carga, así como con amplios márgenes de estabilidad durante perturbaciones.

El regulador de voltaje tiene dos modos de ser operado:

1. Regulador manual de voltaje (70 E)
2. Regulador automático de voltaje (90 R)

Las principales funciones del regulador de voltaje son las siguientes:

- a) Regular, el voltaje V_T de salida del Generador, de tal manera que permanezca constante.
- b) Repartir uniformemente la potencia reactiva. Cuando un Generador se encuentra sincronizado al sistema, se establece una característica entre la potencia reactiva del Generador y el voltaje del sistema; de tal forma que al producirse un cambio de voltaje del "sistema", el regulador de voltaje responde con un cambio proporcional de potencia reactiva del "Generador".
- c) Mejorar la estabilidad dinámica del generador, cuando éste se encuentre sincronizado al sistema, si las condiciones de trabajo obligan a operarlo subexcitado, por tener carga capacitiva, con un valor cercano al límite de estabilidad del Generador (ver curvas de capacidad) y no salga de sincronismo.

por otro lado, si el Generador, está trabajando con carga inductiva, entonces se sobreexcita, con un valor límite permisible, para no llegar a dañar los devanados de la armadura, por sobrecalentamiento (ver curvas de capacidad).

COMPONENTES PRINCIPALES DEL REGULADOR

A continuación se hará una breve descripción de las funciones que desempeñan los circuitos principales que componen el regulador de voltaje:

- a) Circuito sensor de voltaje.- Este circuito tiene la función de sensar el voltaje y la corriente de salida del Generador, por medio de los transformadores de potencial y de corriente, que a su vez llegan a transductores, los cuáles acondicionan estas señales para el regulador.
- b) Amplificador de voltaje de campo (FVA).- Este circuito recibe señales ya sea del regulador manual (70 E), ó del regulador automático (90 R), en donde se procesan éstas señales y las "traduce" a ángulos de retardo de encendido de los tiristores: para posteriormente pasar al circuito "generador de pulsos".
- c) Circuito generador de pulsos de disparo.- Este circuito, tiene la finalidad de generar los pulsos de disparo (encendido), para las compuertas de los tiristores; en base a una señal proporcionada ya sea por el regulador manual ó automático.
- d) Circuito convertidor amplitud-desfasaje.- Su función es la de convertir la amplitud de una señal de voltaje, en un ángulo de desfasaje, el cuál dependiendo de éste, sera el voltaje rectificado.
- e) Circuito seguidor de voltaje.- Este circuito tiene la función de hacer "seguir" la señal del regulador de voltaje manual ó automático ó viceversa; ya sea que en el momento de fallar cualquiera de los dos reguladores, se pueda hacer la transferencia de funciones sin ninguna discrepancia en relación al voltaje regulado; ya que si hubiera diferencia, causaría daños severos al Generador.
- f) Circuito de amortiguamiento.- Este circuito proporciona una señal tal, que se opone a los cambios bruscos en el voltaje de excitación, con lo cual podría dañar al devanado del rotor; está formado por elementos resistivos y capacitivos.
- g) Circuito compensador de reactivos.- Este circuito tiene la finalidad de establecer una característica proporcional a las variaciones entre la potencia reactiva Q del sistema y el voltaje terminal V_T del Generador. Este circuito hace que el Generador varíe su excitación de tal manera que consuma o genere potencia reactiva cuando se presente una variación de ésta.
- h) Circuito limitador de baja excitación.- Este circuito fija un valor mínimo de excitación del Generador, evitando que cuando la demanda de potencia reactiva del sistema se reduce, el Generador también reduzca su excitación, a tal grado que pueda llegar a salir de sincronismo.
- i) Circuito limitador de máxima excitación.- La función de éste circuito es la de proteger al devanado de campo de sobre-excitaciones sostenidas, ya que si se rebasa un valor máximo de

la corriente de excitación, se llega a producir calentamientos excesivos en el devanado de las bobinas del estator, con lo cual se acortaría la vida útil de los aislamientos.

FUNCIONAMIENTO DEL REGULADOR DE VOLTAJE

La regulación de la corriente de excitación I_f , y por lo tanto la regulación del voltaje de salida V_T , se efectúa mediante la modificación del "ángulo de disparo" de los tiristores que forman el puente rectificador, en donde la alimentación proviene del Transformador de Excitación.

Esta regulación puede efectuarse ya sea por el regulador manual ó el regulador automático, que actúa sobre el amplificador de voltaje de campo (FVA), produciendo una señal que se traduce a pulsos que hace que "enciendan" los tiristores.

Para iniciar la excitación se requiere de una fuente de 125 VCD, la cual es suministrada por medio del "Sistema de 125 VCD"; que consiste en: un banco de baterías, cargador de baterías (rectificador), tablero de 125 VCD y alimentadores. La conexión de éste sistema al tablero de excitación se hace por medio del "contactor de excitación inicial 31 G", durante algunos segundos. Una vez iniciada la excitación, el Generador empezará a excitarse ahora mediante el Transformador de Excitación.

Una vez que el Generador se encuentra funcionando a valores nominales, se comienza a recibir señales de voltaje y corriente, mediante transductores, estos voltajes y estas corrientes se transforman en señales lógicas, que se mezclan en una componente mezcladora de señales, que además recibe las modificaciones por los controladores de límite "límite mínimo de excitación" y "límite máximo de excitación", todas éstas señales filtradas y mezcladas, actúan sobre un amplificador de voltaje de campo (FVA), produciendo la señal que mandará al circuito "generador de pulsos".

Durante la operación normal, si el regulador demanda mayor excitación, entonces el ángulo de disparo disminuye, y la salida de CD promedio umenta; si por el contrario, el regulador demanda menos excitación ó desexcitación total, el ángulo de disparo de los tiristores se incrementa y la salida de CD promedio disminuye (e incluso puede tornarse negativa).

IV.2.5.- PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DEL PUENTE RECTIFICADOR

Este puente rectificador, el cuál también es llamado convertidor, ya que su función es la de convertir la corriente trifásica, que proviene del secundario del transformador de excitación, en corriente directa C. D. por medio de tiristores, para alimentar al devanado de campo del Generador.

Para comprender mejor el puente rectificador, se hablará brevemente sobre el elemento principal que lo compone: el **Tiristor**.

En la figura 2 se presenta la estructura del tiristor, el cuál es un semiconductor de estructura PNP.

Un tiristor, también recibe el nombre de **SCR** (Rectificador Controlado de Silicio), por lo que el material semiconductor es el silicio.

Para que el silicio se convierta en un material tipo "P", se le agrega un número predeterminado de átomos de impureza, que tengan tres electrones de valencia; los elementos que se emplean: son boro, el galio y el indio.

Ahora, para convertirlo en material tipo "N", se le agrega elementos de impureza que tengan cinco electrones de valencia; como antimonio, arsénico y fosforo.

El hecho de agregar impurezas en un material semiconductor (silicio), altera totalmente sus propiedades eléctricas y se convierte en un interruptor unidireccional con encendido controlado (disparo).

El tiristor tiene tres terminales, la terminal por donde llega la corriente se le llama ánodo (A), y por donde sale tiene dos terminales, una llamada cátodo (K); y una terminal de encendido llamado compuerta (G).

Para que un tiristor conduzca, debe cumplir con dos condiciones:

1. La tensión ánodo-cátodo V_{AK} sea positiva.
2. A la compuerta G, se le aplique un impulso de encendido.

Para rectificar la corriente, se necesita de varios tiristores, que constituyen un puente rectificador.

Puente rectificador

Para facilitar la comprensión del funcionamiento, se indicará en principio conexiones de tipo unidireccional; con esta denominación, se quiere evidenciar, el hecho de que la corriente puede salir del puente en una sola dirección.

En la figura 6 se presenta un rectificador con diodos, la conexión se denomina: "estrella trifásica"; en la figura 7, se observa el comportamiento de la tensión "rectificada" que se le aplica a la carga.

Las tres tensiones: V_{RN} , V_{DS} y V_{TN} , son respectivamente las tres tensiones estrellas en el secundario del transformador de excitación; las tres tensiones.

Las tres tensiones: V_{DR} , V_{DS} , y V_{DT} , son las tensiones, en las cuáles cada rectificador conduce respectivamente.

Aquí cada diodo, conduce por 120° y queda bloqueado por 240° : el intervalo de conducción, coincide con aquél durante el cuál, la tensión estrella de la fase a la cuál está conectado el diodo es mayor de las tres (lo que se conoce como conmutación natural, por estar utilizando diodos, para una fácil comprensión).

Si se conecta en conjunto dos conexiones a estrella trifásica, se tiene un esquema como el de la figura 8; en la conexión a puntos, se observa que cada diodo conduce por 120° y queda bloqueado por 240° : pero el intervalo de conducción, coincide con aquél, durante el cuál la tensión estrella de fase en el que el diodo está conectado es menor a las tres (fig. 9), donde la tensión rectificada se indica en ésta misma figura.

Si ahora se elimina la conexión al neutro del transformador y se considera, en consecuencia una carga total $Z_C = Z_{C1} + Z_{C2}$, se obtiene un tipo de conexión llamada "Puente de Greatz trifásico".

La tensión aplicada a la carga Z_C , se obtiene sumando instante por instante, las tensiones que se tienen sobre las cargas parciales. (fig. 10)

Si sustituimos los diodos de un puente de Greatz trifásico con tiristores, la conexión se denomina ahora: **Puente de Greatz trifásico completamente controlado**. (fig. 11)

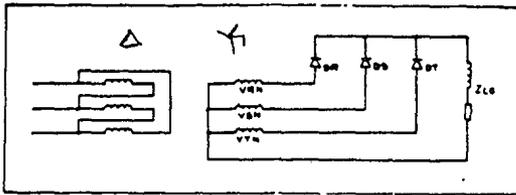


FIG. 6.- PUENTE RECTIFICADOR CON DIODOS; CONEXION A ESTRELLA TRIFASICA

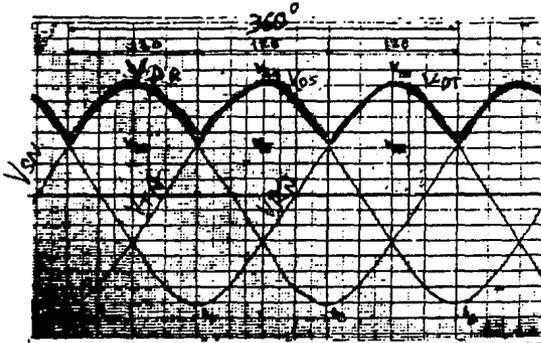


FIG. 7.- FORMA DE ONDA DE LAS TENSIONES AL PASAR POR LOS DIODOS (LINEA GUESA)

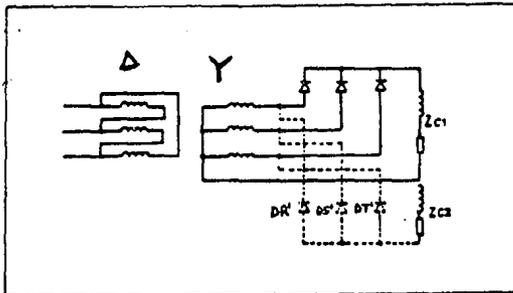


FIG. 8.- DOS CONEXIONES A ESTRELLA TRIFASICA

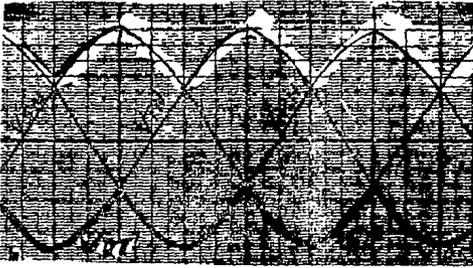


FIG. 9.- TENSION RECTIFICADA QUE SE APLICA A LA CARGA Z_{CZ}

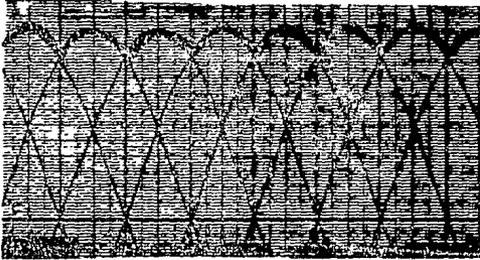


FIG. 10.- TENSION APLICADA A LA CARGA Z_C

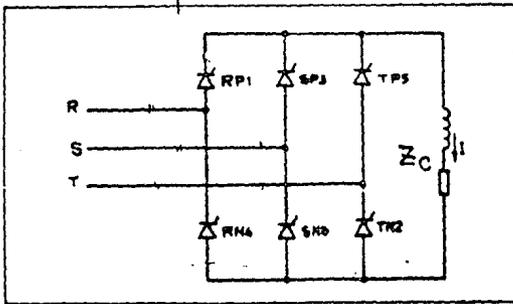


FIG. 11.- PUENTE DE GREATZ TRIFASICO CON TIRISTORES

Este es el tipo de puente que se utiliza el Sistema de Excitación en la C. T. Petacalco.

Principio de funcionamiento

Supongamos que en el puente de la figura 11, los tiristores se excitan en sus instantes naturales de encendido (instante en el cuál la tensión aplicada al tiristor, se convierte positiva).

Con está hipótesis, no existe ninguna diferencia de comportamiento entre un tiristor y un diodo; en éste caso la tensión rectificadora es como el la figura 10; para el caso de la figura 11, la secuencia de encendido natural es la siguiente:

En t_1 se excita RPI, en t_2 se excita TN2, en t_3 se excita SP3, en t_4 se excita RN4 y así sucesivamente.

Los tiristores de la parte superior del puente, se excitan con un desfase relativo de 120° (y en consecuencia, cada uno conduce por 120°), lo mismo para los tiristores de la parte inferior.

Los instantes en que se excitan, los tiristores de las dos ramas que hacen cabecera, a la misma fase de la tensión alterna de alimentación, están desfasados por 180° .

La diferencia esencial entre un diodo y un tiristor es: un diodo enciende con respecto al instante natural de encendido.

Un tiristor por medio de la compuerta que "retarda" el encendido natural.

Este retardo en el encendido, se le llama: "ángulo de disparo α "; al variar éste ángulo cambia la forma de onda y el valor medio de la tensión rectificadora U_{do} .

A continuación, se analizara como influye el ángulo de disparo α , en un puente rectificador.

Suponiendo que se rectifica la corriente, en un puente de media onda con tiristores (por ser el caso más sencillo, además de que también se cumple para uno de onda completa). (fig. 12)

En el momento de variar el ángulo α , cambia el valor medio de la tensión rectificadora U_{do} . (fig.13)

Matemáticamente sucede lo siguiente:

Dado que las tensiones alternas V_1 , V_2 y V_3 son de la forma:

$$V_1 = V 1.4142 \text{ sen } \omega t \text{I}$$

$$V_2 = V 1.4142 \text{ sen } (\omega t - 2\pi/3) \text{II}$$

$$V_3 = V 1.4142 \text{ sen } (\omega t - 4\pi/3) \text{III}$$

el tiristor T_1 , es excitado con un ángulo de retardo α , el cuál conduce para:

$$\pi/2 - \pi/3 + \alpha < \omega t < \pi/2 + \pi/3 + \alpha ; \text{ entonces } U_{d0} \text{ es igual a } V_1.$$

de igual manera el tiristor T_2 , conduce para:

$$\pi/2 + \pi/3 + \alpha < \omega t < \pi/2 + 3\pi/3 + \alpha$$

de igual manera, para el tiristor T_3 , conduce para:

$$\pi + \pi/3 + \alpha < \omega t < \pi/2 + 2\pi + \alpha$$

Entonces se puede concluir lo siguiente al observar la figura (13 a, b y c) y las ecuaciones anteriores:

- En un rectificador con tiristores, cuando $\alpha = 0$, funciona como un rectificador de diodos
- Si el ángulo $\pi/2 + \pi/3 + \alpha$, de fin de conducción de T_1 , es inferior a π la tensión siempre es positiva
- A medida que crece el valor de α , el valor de U_{d0} disminuye
- Si α es superior a $\pi/2 + \pi/3$, la tensión U_{d0} se convierte en negativa, está tensión $- U_{d0}$ aumenta conforme aumenta α .

Ahora la tensión rectificada u_d , está formada, por el periodo T, de 3 voltajes identicos de senoide (así como los de las ecuaciones I, II y III)

Así para: $\pi/2 - \pi/3 + \alpha < \omega t < \pi/2 + \pi/3 + \alpha$ (ver figura 14)

$$u_d = V_1 = V 1.4142 \text{ sen } \omega t$$

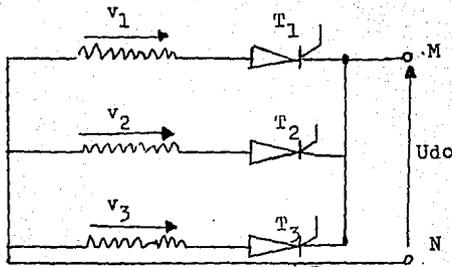


FIG. 12.- RECTIFICADORES A ESTRELLA TRIFASICA

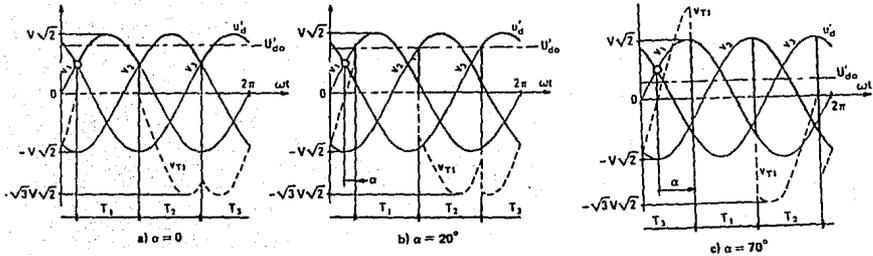


FIG. 13.- VARIACION DEL ANGULO DE DISPARO " α "

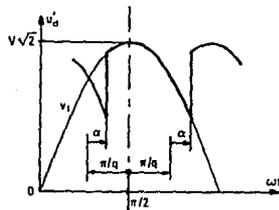


FIG. 14

De donde el valor medio de U_d :

$$U_d = \frac{3}{2\pi} \int_{\pi/2 - \pi/3 + \alpha}^{\pi/2 + \pi/3 + \alpha} V \cdot 1.4142 \sin \omega t \, d\omega t = \frac{3}{\pi} V \cdot 1.4142 \sin \pi/3 \cos \alpha$$

Por lo tanto: $U_{d0} = U_d \cos \alpha$ (esta ecuación también es aplicable a un rectificador de onda completa)

Donde: el valor medio de la tensión rectificadora U_{d0} , es igual al valor medio de la tensión rectificadora sin retardo de excitación U_d , multiplicado por el coseno del ángulo de retardo α

Se puede concluir lo siguiente:

Si el regulador demanda mayor excitación, el ángulo de parcialización α disminuye y la salida U_{d0} aumenta, como en la figura 13 a

Por último, si el regulador demanda menor excitación ó desexcitación total, el ángulo de parcialización α aumenta y la salida U_{d0} disminuye e inclusive puede llegar a ser negativa. (fig. 13 b y 13 c)

En la figura 16 se muestra el Puente rectificador (Stachk) del Sistema de Excitación.

IV.2.6.- INTERRUPTOR DE CAMPO (DESEXCITADOR)

GENERALIDADES

Como su nombre lo indica, tiene la función de interrumpir la alimentación al campo del Generador; además como elemento de protección (CROW-BAR) tanto para el lado de C. D. (campo), como el lado de A. C. (tiristores).

Este equipo se compone de dos tiristores, conectados en antiparalelo entre si y en serie, con una resistencia de descarga RES. (fig. 15)

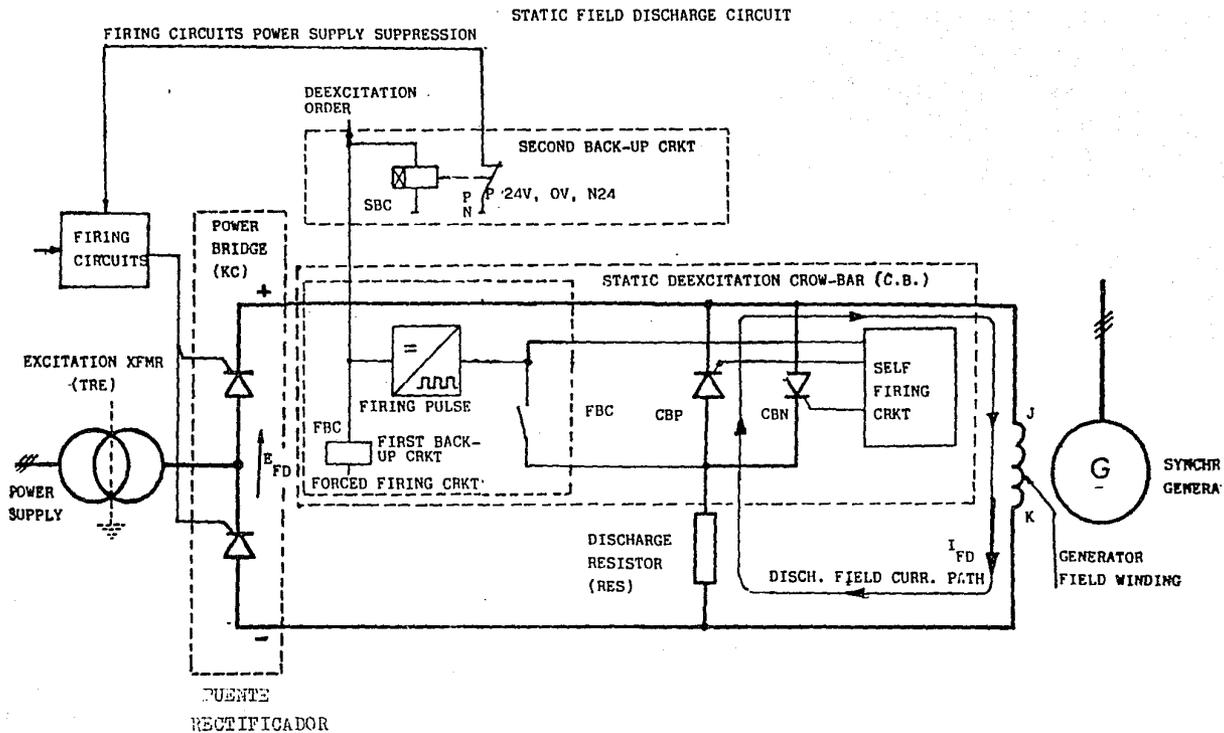


FIG. 15.- DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL DESEXCITADOR ESTATICO

A todo el equipo Desexcitador, recibe el nombre de CROW-BAR; el tiristor que permite la circulación de la corriente de excitación, cuando se encuentra encendido, se llama CROW-BAR POSITIVO (CBP); mientras el tiristor que permite la circulación de la corriente en la dirección contraria se llama CROW-BAR NEGATIVO (CBN).

FUNCIONAMIENTO

Funcionamiento como desexcitador estático.- El tiristor que debe se encendido, es el CBP, porque es el que permite la circulación de la corriente de excitación, pase por la resistencia de descarga (RES).

Se recibe la señal: (DEEXCITATION ORDER), El cuál activa a varios circuitos; el primero que activa es el: SECOND BACK-UP CIRCUIT, que es el que manda la señal: (FIRING CIRCUIT POWER SUPPLY SUPRESOR) (suprime el disparo a los tiristores), del circuito principal de rectificación POWER BRIDGE.

Al mismo tiempo la señal: (DEEXCITATION ORDER), llega al circuito FIRING PULSE, el cuál activa al circuito SELF FIRING CIRCUIT, éste circuito enciende el tiristor del CBP.

Ahora en caso, de avería de éste circuito SELF FIRING CIRCUIT, ó el CBP no encendiera, entonces se manda una señal al FIRST BACK-UP CIRCUIT, el cuál se le quita la alimentación al FIRING CIRCUIT del POWER BRIDGE (puente rectificador), lo cuál se traduce en una supresión de pulsos, y permite que la desexcitación se produzca con la recirculación de la corriente I_f , por la Resistencia de descarga RES.

Funcionamiento como elemento de protección.- Estas protecciones actuan, cuando el Generador va fuera de paso, como consecuencia de maniobras de incersión hechas en líneas en vacío, cuando se este operando con baja coriente de excitación y cuando existan sobretensiones provocadas por corto circuito.

Resulta entonces conveniente utilizar el mismo resistor de descarga RES del interruptor de campo, para limitar este tipo de corrientes y dañar el campo.

A su vez se pone en funcionamiento los circuitos SELF FIRING CIRCUIT, el cuál enciende el CB; cuando la sobretensión supera un umbral predeterminado y coordinado con la máxima tensión del convertidor y con la clase de aislamiento del Generador, el cuál el umbral de intervencion es igual a 1.5 veces la tensión de techo $V_{ceiling}$ del sistema de excitación.

Si la polaridad de la sobretensión tiene signo contrario a la de la tensión de excitación, el CBP se encendera y el mando de supresión de impulso se enviará al convertidor de potencia (POWER BRIDGE); por otra parte, si la polaridad está de acuerdo, con la tensión de excitación, se encendera el CBN y también se envía una señal de supresión de impulsos.

Resistencia de descarga RES

La resistencia de descarga RES (fig. 17), tiene la función de dispersar la energía acumulada en el rotor de la máquina, permitiéndole una rápida extinción de la corriente de campo.

Esta resistencia es insertada tanto en fase de desexcitación, como de protección.

Los datos técnicos de la resistencia están dimensionados para un Generador de 350 MW, y son los siguientes:

- Resistencia 0.19Ω +/- 10 %
- Máxima energía que se puede disipar sobre la resistencia RES, en una desexcitación: 3 500 KJ
- Pico de corriente máxima: 12 KA
- Número de desexcitaciones consecutivas admitidas: 3

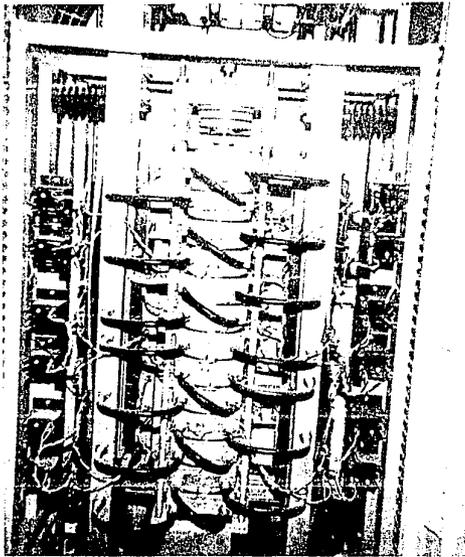


FIG. 16.- VISTA FRONTAL DEL "STACHK" DENTRO DEL GABINETE DE CONTROL DEL SISTEMA DE EXCITACION; AQUI SE ENCUENTRA EL PUENTE RECTIFICADOR EL CUAL CONTIENE A LOS TIRISTORRES.

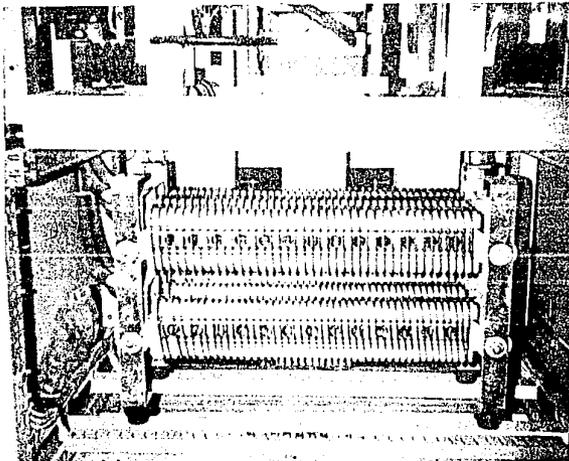


FIG. 17.- RESISTENCIA DE DESCARGA (RES) DEL SISTEMA DE DESEXCITACION. SE ENCUENTRA ABAJO DEL STACHK

IV.3.- BUS DE FASE AISLADA

En unidades generadoras de gran capacidad (como el de la C. T. Petacalco de 350 MW), la conexión del generador Eléctrico con el Transformador Principal, Transformadores auxiliares (2) y el Transformador de Excitación (fig. 3), se realiza por medio del **Bus de Fase Aislada**. (fig. 1 y 2)

Un Bus de Fase Aislada, recibe energía trifásica a 20 KV y 60 Hz, del Generador.(ver plano Bus de Fase Aislada)

Tanto el conductor, como la envolvente del Bus de Fase Aislada, son de aluminio; así mismo el ducto principal y las derivaciones respectivas (derivación al tranformador de excitación, los transformadores y tableros de sobretensiones).

Cada fase, está encerrado en una envoltura metálica, separado del conductor por aire; cada fase es completamente individual, así como las derivaciones.

La temperatura máxima de operación de las barras conductoras es de: 65 °C; soporte de porcelana entre las barras conductoras y la envolvente.

Las tensiones nominales y valores de pruebas dieléctricas aplicables, deben seleccionarse de la tabla siguiente:

VALORES DE PRUEBA (KV)

Tensión nominal del Bus de Fase Aislada (valor eficaz) KV	Potencial aplicado a 60 Hz valor eficaz (en seco 1 min. en humedo 10 segundos)	Al impulso onda completa (valor cresta)
14.4	50	110
20.0	60	150

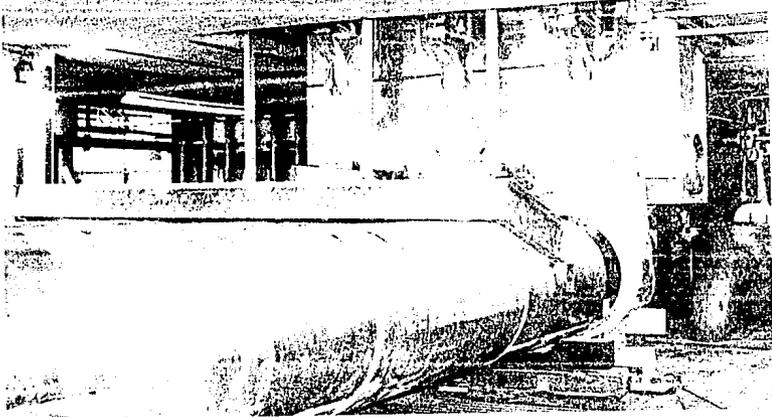


FIG. 1.- VISTA PARCIAL DEL: "BUS DE FASE AISLADA" UBICADO DENTRO DE CASA DE MAQUINAS. OBSERVESE EN LA PARTE SUPERIOR LOS BUSHINGS (TERMINALES) DEL GENERADOR

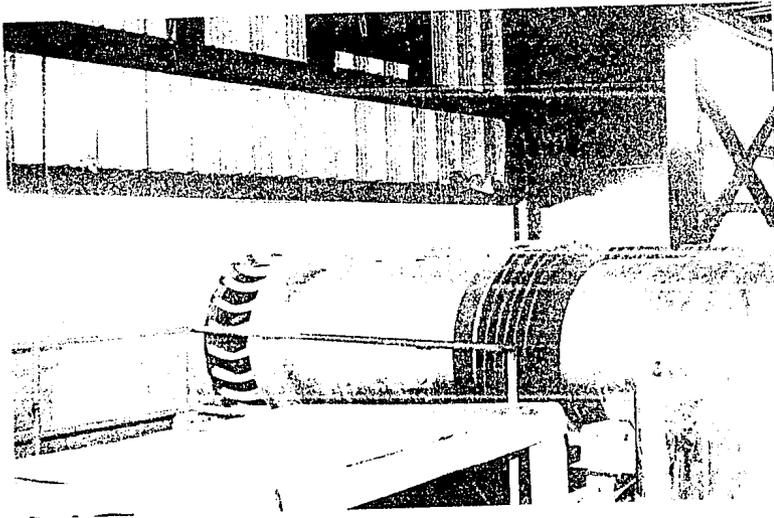


FIG. 2.- OTRA VISTA DEL BUS DE FASE AISLADA; SALIENDO FUERA DE CASA DE MAQUINAS AL AREA DE TRANSFORMADORES

IV.4.- TRANSFORMADOR PRINCIPAL

Cada unidad generadora, cuenta con un **Transformador Principal**, el cuál es trifásico, conectado en delta / estrella (Δ / Y), con su neutro en el secundario accesible, conectado solidamente a tierra y enfriamiento OA / FOA, servicio intemperie, sumergido en aceite, operación de 60 Hz y altura de 1 000 msnm. (fig. 5)

La capacidad del transformador, es seleccionada para conducir la potencia máxima de salida del Generador, menos la carga de los transformadores auxiliares y el transformador de excitación, en las diferentes condiciones de operación, establecidas por la unidad; según los requerimientos de voltaje: de las barras de la subestación y las curvas de capacidad, a presión máxima de hidrógeno y frecuencia nominal.

Operación en modo OA a temperatura de 55 °C; para trabajar a un 12 % más de capacidad, se opera en modo FOA, a temperatura de 65 °C.

Los datos técnicos son los siguientes:

Marca	IEM
Tipo	intemperie, sumergido en aceite, 3 fases
Enfriamiento	OA / FOA
Capacidad	375 / 420 MVA
Conexión	Δ / Y
Tensiones	Primario: 20 KV Secundario: 400 KV
Polaridad	Substractiva
Peso total	298 887 Kg
Tensión de auxiliares	480 VCA
Tensión de control	125 VCD

IV.5.- TRANSFORMADORES AUXILIARES

Los **Transformador Auxiliares**, tienen la función de distribuir la energía a los motores mayores de 250 HP y mayores (motores de bomba de Condensado, de Alimentación y Circulación) y transformadores de las subestaciones unitarias de cada unidad turbogeneradora.

Durante la operación normal, los Transformadores Auxiliares, reciben alimentación del Generador Eléctrico, en las terminales primarias de este por medio del Bus de Fase Aislada. (fig. 4)

Durante el arranque, paro y disparo de la unidad turbogeneradora, recibe alimentación de las terminales del interruptor simulado del alimentador de enlace del Transformador de Arranque que está conectado a la red de alta tensión.

Se tienen dos Transformadores Auxiliares por unidad, cada transformador está conectado a tierra a través de una resistencia y el interruptor simulado de cada subsistema (cada tablero blindado, así como los cables de fuerza, control e instrumentación asociado constituyen un subsistema de alimentadores).

Cada Transformador Auxiliar, es trifásico, autoenfriado en aceite, mas un paso de enfriamiento forzado en aire, aislamiento para 65 °C.

El circuito de enfriamiento a 480 V, 3 fases, 60 Hz, se alimenta desde los CCM, su control de arranque y oparo opra a 120 V, 60 Hz.

Los datos tecnicos son los siguientes:

Marca	PROLEC
Tipo de enfriamiento	OA / FA
Nucleo	tipo columna
Voltaje de alta tensión	20 KV
Voltaje de baja tensión	6.9 KV
Capacidad	24 MVA

IV.6.- TRANSFORMADOR DE ARRANQUE

La función del **Transformador de Arranque**, es la de alimentar desde la red de alta tensión, a las unidades turbogeneradoras, durante el arranque, paro y como respaldo en las funciones internas de cada unidad. (fig. 6)

Aunque el Transformador de Arranque, no pertenece propiamente al Sistema de Generación Principal, es imprescindible, ya que para poner en servicio una unidad en la Central, se necesita de una gran cantidad de energía, la cuál se obtiene unicamente de la red de alta tensión, a través del Transformador de Arranque.

El Transformador de Arranque, pertenece al Sistema de Reserva de Tensión Media (voltaje comprendido entre los 1 000 y 20 KV), el cuál recibe la energía de la red de alta tensión, en las terminales del Transformador de Arranque, está la transforma para alimentar a los motores y subestaciones unitarias de servicios comunes de un par de unidades generadoras.

Principalmente el uso de éste Transformador, es en el arranque y disparo de alguna unidad Turbogeneradora.

El Transformador de Arranque, es trifásico, con dos devanados secundarios y un terciario, todos autoenfriados en aceite, más un paso de enfriamiento forzado con aire, aislamiento para 65 °C.

El circuito de enfriamiento es a 480 V, 3 fases, 60 Hz, se alimenta desde los CCM, su control, arranque y paro a 120 V, 60 Hz.

Los datos técnicos del transformador de arranque son los siguientes:

Marca	PARSON-PEEBLES
Potencia	38 / 50 MVA
Voltaje de alta tensión	400 KV
Voltaje de baja tensión	6.9 KV

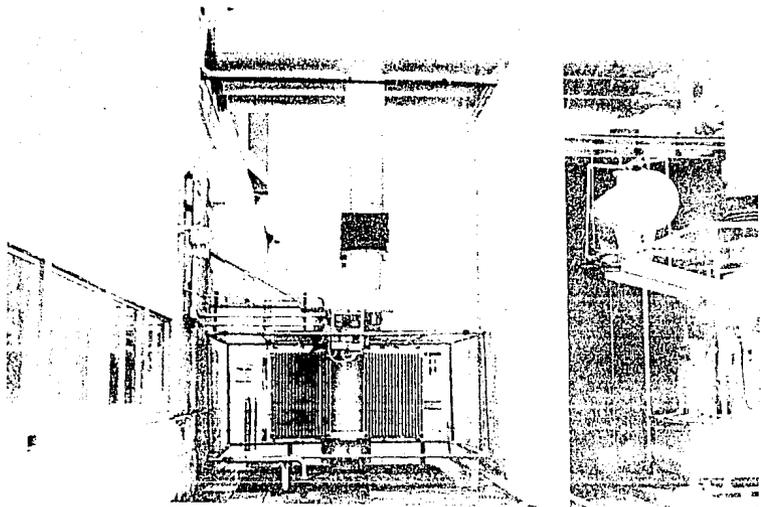


FIG. 3.- TRANSFORMADOR DE EXCITACION; PRIMERA DERIVACION (ALIMENTACION) DEL BUS DE FASE AISLADA

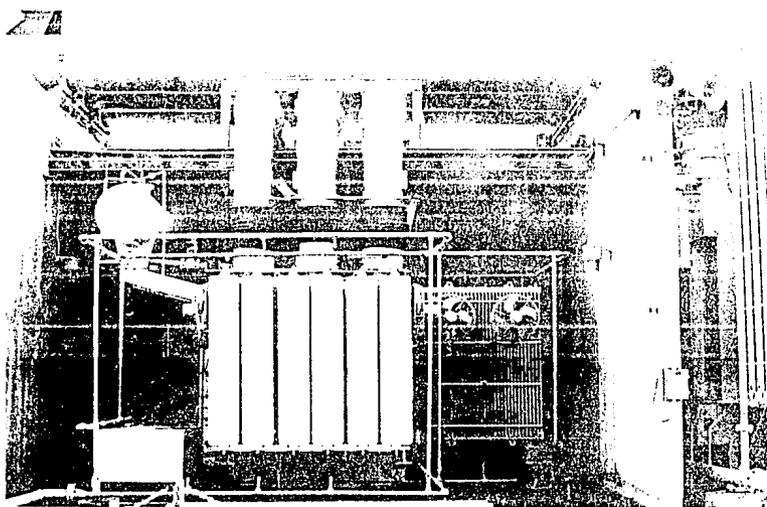


FIG. 4.- TRANSFORMADOR AUXILIAR (EXISTEN 2 POR UNIDAD)

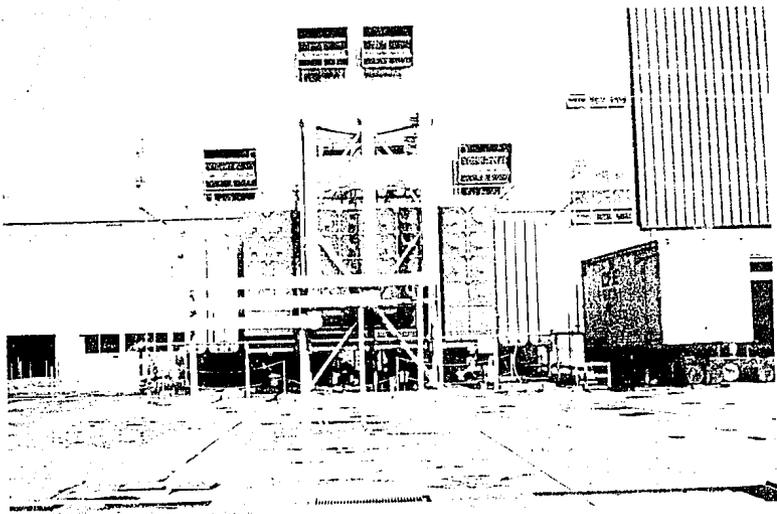


FIG. 5.- TRANSFORMADOR PRINCIPAL, ELEVA EL VOLTAJE
DE 20 KV A 400 KV; AL FONDO CASA DE MAQUINAS

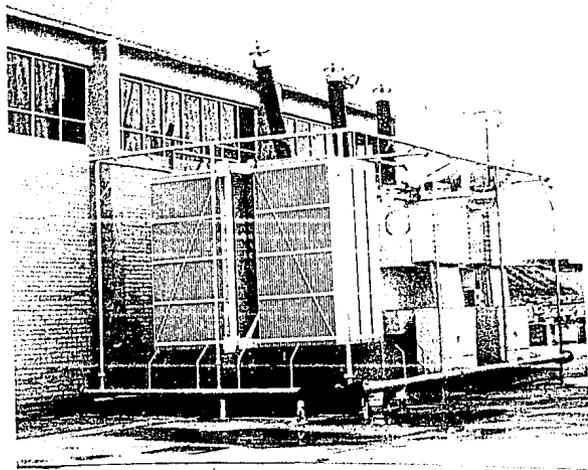


FIG. 6.- TRANSFORMADOR DE ARRANQUE

CAPITULO V

CONCLUSIONES

En vista de la construcción de la Central Termoeléctrica Petacalco, primera Central Dual (carbón-combustóleo) del país, así como la próxima construcción de otras 26 unidades Duales para los próximos años, es de gran importancia el conocimiento general de la constitución y funcionamiento de una Central Termoeléctrica Dual, ya que la tendencia para producir energía eléctrica, será a base de carbón, como combustible base.

Por otro lado, para que el sector eléctrico, haya concebido al carbón una importante participación como energético en la generación de energía eléctrica, para los años venideros, se debe a varios factores, que son los siguientes:

1. La experiencia positiva que tiene actualmente México, con el uso de carbón térmico, experiencia adquirida con las Centrales Carboeléctricas: Río Escondido y Carbón II, ambas en el estado de Coahuila.
2. Diversificación de los usos de los energéticos para la producción de energía eléctrica.
3. Como consecuencia se busca disminuir la gran dependencia energética, que en México aún se tiene de los hidrocarburos, para la generación de energía eléctrica: que de 60.56 % en 1990, se espera que con la entrada en funcionamiento de todas las unidades Duales, esta dependencia disminuya al 38.43 % para el año 2000; y ocupar el petróleo preferentemente a producir derivados de la petroquímica, por el alto valor agregado que se obtiene de su comercialización.
4. Tomando en cuenta que el carbón a utilizarse es utilizado y que las reservas mundiales de este energético, cuantificada hasta 1989 junto a los actuales ritmos de consumo anual, se tendrá carbón para los próximos 225 años.

Por otra parte, con lo que respecta C.T. Petacalco, desde su concepción hasta su operación comercial, intervienen cuatro áreas para su realización, las cuáles son:

- Área de Proyectos.- Aquí, es donde se toman y desarrollan las decisiones de cuando, donde y como se vá a construir una Central de Generación.

- Area de Construcción.- Una vez aprobado el proyecto y ubicado el lugar donde se va a instalar la Central, se empieza a construir de acuerdo a lo especificado por Proyectos, empezando por la Ingeniería Civil, Mecánica, Eléctrica y de Instrumentación y Control.

- Area de Puesta en Servicio.- Una vez montado el equipo mecánico y eléctrico, ésta área se encarga de hacer pruebas a todos los equipos y sistemas de la Central, para que cumplan con las normas de fabricación y CFE y ponerlas en servicio.

- Area de Operación.- Cuando la Central de Generación está parcialmente terminada (por ejm. unidad 1 y 2) entonces se puede empezar a operar para la producción de energía eléctrica, para ser transmitida a los centros de consumo.

Con respecto a mi estancia de tan sólo seis meses en la C. T. Petacalco, y sin experiencia alguna; dentro del Area de Contrucción; prestando el "Servicio Social", como ayudante de la Residencia Eléctrica; cuya actividad desarrollada fué: supervisión de instalación de charolas, conduit y cableado (conexión a cajas , instrumento y equipos), dentro de Casa de Maquinas (lugar cubierto donde se encuentra el Turbo-Generador, Condensador, Calentador de alta y baja presión así, como equipos auxiliares; es imposible asimilar la enorme cantidad de equipo que aquí se encuentra, así como el tener el conocimiento de los demás sistemas y equipos que componen la Central; por lo que se trato de enfocar esta Tesis, al aspecto de las partes que constituyen una Central Termoeléctrica, así como el funcionamiento de ésta, haciendo énfasis en la producción de energía eléctrica, que es el objetivo de una Central de Generación.

Ahora con estos pocos pero valiosísimos conocimientos adquiridos, tengo la inquietud de conocer otras Areas, en especial el Area de Operación.

B I B L I O G R A F I A

- Energía Nuclear y sus perspectivas en México C.F.E.
- El mercado internacional del carbón F.I. UNAM
- El Carbón en la Generación de Energía Eléctrica en México C.F.E.
- Centrales Eléctricas
Rámirez Vázquez CEAC
- Genrerencia de Proyectos Termoeléctricos C.F.E.
- Estudios de planeación para ubicar una terminal de carbón de la C.F.E.
en el puerto de Lázaro Cárdenas, Mich. Desarrollo y
Sistemas S. A.
- Máquinas Eléctricas Chapman
- Maquinas Eléctricas y Transformadores Kosow
- Selección, Ajuste y Coordinación de Protecciones Eléctricas I.I.E.
- Descripción del Sistema de Excitación de la C. T. Petacalco ANSALDO
- Electrónica, Teoría de Circuitos Boylestad
- Electrónica de Potencia (los convertidores estáticos de potencia) Sieguer
- Prontuario de datos técnicos C. T. Petacalco