



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

9
ZES

FACULTAD DE INGENIERIA

SISTEMA DE OPERACION EN CENTRALES
TERMoeLECTRICAS

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO PETROLERO
P R E S E N T A N :
ULISES EGULLUZ UGALDE
EDUARDO PEREZ JIMENEZ



FALLA DE ORIGEN

MEXICO D.F.

A 11 DE DICIEMBRE DE 1995

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**FIRMAS DEL JURADO PARA EL EXAMEN PROFESIONAL
DEL SR. BENJAMIN ULISES EGUILUZ UGALDE
No. DE CUENTA: 8262285-3**

**SR. EDUARDO EREZ JIMENEZ
No. DE CUENTA: 7909105-5**

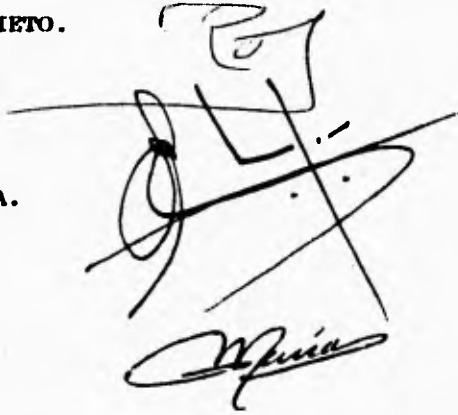
PRESIDENTE: M. en I. RAFAEL RODRIGUEZ NIETO.

VOCAL: M. en I. JOSE ANGEL GOMEZ CABRERA.

SECRETARIO: I. SALVADOR MACIAS HERRERA.

1er. SUPLENTE: I. MANUEL FALCON FELIX.

2ndo. SUPLENTE: I. NESTOR MARTINEZ ROMERO.

A large, stylized handwritten signature in black ink, appearing to read 'Rafael Rodriguez Nieto'.A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Manuel Falcon Felix'.

DEDICAMOS ESTE TRABAJO A NUESTRA ALMA MATER
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
POR HABERNOS ABIERTO SUS PUERTAS PARA PODER REALIZAR NUESTRA
FORMACION PROFESIONAL

Y

A NUESTRO DIRECTOR DE TESIS
M. EN I. JOSE ANGEL GOMEZ CABRERA
POR SU ASESORIA Y EMPENO PARA CONCLUIR CON EXITO NUESTROS
ESTUDIOS.

BEJAMIN ULISES Y EDUARDO.

MADRE,

Gracias por darme todo en la vida y la vida misma,
Gracias, por llevarme por el camino de la verdad,
Gracias, por tu esfuerzo, dedicación y paciencia,
Gracias, por darme tu ejemplo, por que en el debo seguir
toda mi vida y encausar a mis hijos a seguirlo,
Gracias, por tener el corazón siempre abierto y lleno de
sabiduría para guiarme en lo bueno y en lo malo,
Gracias por dar siempre todo tu coraje y valor para seguir
viviendo, ya que gracias a eso te tengo y te tendre por muchos
años más,
Gracias, por ser mi gran amiga,
Gracias, por tener ese caracter y esa hermosa locura que te
hace ser única,
Gracias, por la gran herencia familiar de la cual siempre estaré
orgullosa, como mis abuelos Matilde e Ignacio que son y serán
mis compañeros toda mi vida,
Gracias, en lo que cabe, a tu Fuede y a tu lentitud por no
alcansarme nunca,
Pero por sobre todas las cosas, gracias por tu Amor y por ser
tu mi Madre.

A mi Padre, Gustavo

Mucho tendría que escribir para agradecerte todo lo que me
ayudaste y me has dado.
Gracias por estar siempre que te he necesitado y que gracias
a ti llegue hasta aqui.
Quiero que sepas que el haber alcanzado esta meta es algo
que los dos debemos disfrutar, ya que siempre formaste parte
del esfuerzo para lograrlo.
Gracias por haber sido más que mi Padre.

A mis Hermanos Omar, Israel, Alicia y Gustavo

A Omar, que le sirva de ejemplo que todo lo que empieza se debe
terminar en su momento para lograr la satisfacción plena.

Israel, gracias por mi mejor amigo, y hermano que he tenido
tienes que seguir luchando por que todavía nos falta mucho por
hacer.

ULI SES

DON ADOLFO Y DOÑA AURA, .

Además de agradecerles por sus consejos y apoyo, quiero hacer---
los parte de esta meta que hoy concluyó; ya que son ustedes ----
los que más me impulsaron y presionaron para llegar al fin.
Con toda honestidad y cariño les doy las gracias y pido a ----
Dios que los conserve por muchos años más para seguir aprendien
do de ustedes.

SAGRARIO, ADOLFO Y EMMANUEL

Gracias por su cariño y amistad.

MARTHA AURA, MARINA, EMMANUEL Y ADOLFO LUIS

Espero que esta sea una meta que superen con facilidad cuando --
llegue el momento y disfruten con todo el corazón, día a día de-
cada momento de felicidad y tristeza para llegar a ella.

GISELA,

Desde hace catorce años te volviste parte de mi y de mi vida, ahora que unimos nuestras vidas y que llegó a nosotros la -- bendición más grande que Dios nos pudo dar, me hace sentir - el hombre más feliz y agradecido con la vida y solo le pido a Dios y a la vida misma que me de fuerza para poder darles - todo lo que puedan necesitar y que nos deje permanecer unidos por el resto de nuestras vidas.

Gracias por todo y por ser como eres.

Te amo.

EVA GISELA,

Eres lo más grande que ha llegado a mi vida que Dios te bendiga y te cuide, y le pido que me lleve por buen camino para ser un - ejemplo en tu vida.

A mi tía Lourdes,

Gracias por ser un ejemplo para mi y por ser la única familia - que mi madre y yo tenemos.

A nuestros amigos,

Gracias por esos momentos inolvidables y llenos de aventura.

CON RESPETO Y AMOR DEDICO ESTA TESIS A MI MAMA MARY,
QUIEN ME HA DADO SU APOYO INCONDICIONAL Y POR CUYA INSISTENCIA
LOGRO ESTA NUEVA META, AGRADEZCO ADEMAS SU AMOR PLENO Y SUS
ENSEÑANZAS LAS CUALES ME PROPORCIONARON MAYOR SEGURIDAD.

A MI PADRE, QUIEN ME OBSEQUIO UN AMOR TIMIDO PERO SINCERO
HASTA EL FINAL DE SU VIDA.

A MI HERMANA MENOR, ANGELICA ANAHI, PARA QUIEN TRATO DE
CONSTITUIR UN EJEMPLO DE AHINCO Y HONESTIDAD A CAMBIO DE LA
ALEGRIA QUE ME HA PROPORCIONADO DESDE SU NACIMIENTO HASTA EL
DIA DE HOY.

A MIS HERMANOS, JESUS ISMAEL, LETICIA, NORMA YAMILE,
ZULMA VERONICA E IVONNE LORENA, A QUIENES DESCUBRI EN LOS
MOMENTOS QUE VERDADERAMENTE LOS REQUERIA.

A MIS ABUELOS, ADOLFO -quien FUE MI PAPA ADOLFO-, RESPONSABLE
DE CASI UNA VEINTENA DE NIETOS, JUNTO CON GUILERMINA -quien sigue
SIENDO MI MAMA MEMITA-, AMBOS TAN ENTREGADOS COMO NUESTROS PADRES.

A MIS TIOS, QUIENES REPARTEN CON HIJOS Y SOBRINOS TODO LO QUE
SU CAPACIDAD LES PERMITE Y SU AMOR LES DICTA.

A MIS PRIMOS, PORQUE HAN SIDO COMO MIS HERMANOS CON QUIENES
HE COMPARTIDO DESDE MI INFANCIA.

A MIS SOBRINOS, LOS CUALES PUEDEN ESTAR SEGUROS QUE COSECHARAN
LO QUE NUESTROS ABUELOS Y PADRES HAN SEMBRADO Y CON QUIENES DISFRUTO
Y RECUERDO LO PLACENTERO DE MI NIÑEZ.

EDUARDO.

Buscar a Dios en todas las cosas,
es investigar; es tomar conciencia
de que todo efecto tiene una causa.
Y que el conocimiento es el único camino
para recuperar esa seguridad que perdimos
y que nos hizo depender de miedos,
culpas y cargos de conciencia que
no nos permiten darnos cuenta que
el templo de Dios es nuestro cuerpo.

Ignorante es quien compra todo sin investigar
al igual que quien niega sistemáticamente,
sin investigar por qué niega lo que niega.

Lo más importante para entender
que tengo derecho a entender,
es empezar a observar paso a paso,
como y de que forma mi mente me
hace actuar en esta vida y al tomar conciencia,
al investigar a través de la observación
mis propios actos, sin deslindar mi responsabilidad,
con el reconocimiento del error,
mi mente sola provoca inexorablemente
los cambios que todos hasta hoy buscamos.

Nadie es autorizado
por su conciencia
a vivir en paz,
si no intenta ser él,
dejando de ser
lo que las circunstancias
hicieron de él.

Quando empiezo a ser yo mismo
asumo y me responsabilizo
de mis propios actos.

Si yo no cambio,
las circunstancias que me rodean
tampoco cambiarán.
Si uno cambia,
cambia el mundo para uno.

Quando uno sabe que sabe,
lo que dice que sabe,
transita por la vida con seguridad.
Pero cuando uno cree que sabe
lo que dice que sabe
y en el fondo no sabe lo que dice que sabe
vive con inseguridad.

TITULO: "SISTEMAS DE OPERACION EN CENTRALES TERMOELECTRICAS"

CONTENIDO:

I. INTRODUCCION	1
I.1. Antecedentes Históricos	6
I.2. Centrales de Generación	11
I.3. Conceptos y Definiciones	22
II. GENERALIDADES	
II.1. Instrumentos de medición y Sistemas de control	60
III. SISTEMAS DE AGUA DE CIRCULACION	97
III.1. Abastecimiento y tratamiento de Agua de Circulación	97
III.2. Sistema de Agua de Circulación	112
III.3. Sistema de Agua de Enfriamiento	138
III.4. Sistema de Agua de Servicios y Contraincendios	144
IV. SISTEMA DE AGUA DE TRABAJO	155
IV.1. Abastecimiento y tratamiento del Agua de Trabajo	155
IV.2. Sistema de Condensado	180
IV.3. Sistema de Agua de Alimentación	211
IV.4. Sistema de extracción, Drenes y Venteos	229
IV.5. Sistema Agua-Vapor (Generación de Vapor)	255
IV.6. Sistema de Vapor Sobrecalentado y Recalentado	275
V. SISTEMAS DE COMBUSTIBLE	296
V.1. Combustión	296
V.2. Sistema de Gas Combustible	330
V.3. Sistema de Diesel	339
V.4. Sistema de Combustóleo (Bunker-C)	344

VI. SISTEMAS DE LA TURBINA DE VAPOR	378
VI.1. Sistema de Turbina y Vapor Principal	378
VI.2. Sistema de vapor de sellos	425
VI.3. Sistema de Lubricación de Turbina y Tornaflecha	435
VI.4. Supervisorios de Turbina	461
VII. SISTEMA ELECTRICO	487
VII.1. Generador Electrico	487
VII.2. Transformadores Electricos	496
VII.3. Interruptores y Cuchillas	507
CONCLUSIONES	523
BIBLIOGRAFIA	527

I. INTRODUCCION

En México, la nación se ha reservado la prestación del servicio público de energía eléctrica, el cual es responsabilidad del Estado y específicamente de la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.), entidad creada en 1937 como dependencia de la Administración Pública Federal y a la que posteriormente se le confirió el carácter de organismo descentralizado, para hacer llegar el servicio eléctrico a las áreas que en aquel entonces no eran interesantes para las empresas privadas que los suministraban en el país.

El proceso de nacionalización de la industria eléctrica culminó con la adquisición de las acciones de la compañía Mexican Light and Power Co. y sus subsidiarias. Actualmente la Compañía de Luz Y fuerza del Centro, S.A., y sus asociados, en tanto concluye su liquidación, suministran el servicio concurrentemente con la C.F.E., en la zona central del País, encargándose de distribuir aproximadamente la cuarta parte de la energía total del sector eléctrico.

La totalidad de la industria eléctrica de servicio público es responsabilidad de la generación de más del 90% de la energía eléctrica total producida en el país, encontrándose el resto en las industrias que se autoabastecen para satisfacer necesidades propias individualmente consideradas, que no implican servicio público, como algunas siderúrgicas y algunas de las plantas de Petróleos Mexicanos.

El constante crecimiento del país en lo que respecta a la infraestructura para la generación de la energía eléctrica, ha venido demandando del Sistema Eléctrico Nacional (S.E.N.), todo el esfuerzo necesario para el desarrollo del proceso de capacitación y adiestramiento de su personal.

La Gerencia de Generación y Transmisión (G.G.T.) de C.F.E., ha venido desarrollando un gran esfuerzo, para dotar al personal, con el respaldo necesario en cuanto a su capacitación, y así, poder contar con técnicos y profesionistas cada vez mejor preparados, a fin de responder con mayor grado de eficiencia en las diferentes disciplinas

técnicas indispensables en el funcionamiento eficaz del S.E.N..

En consecuencia, se han incrementado los programas de capacitación con el apoyo constante de las autoridades directivas de C.F.E., Dada la importancia de las Centrales Termoeléctricas como fuente de energía eléctrica principal de nuestro país.

En la actualidad y debido a la necesidad de personal especializado en la operación de dichas centrales generadoras, se han creado -- diversos cursos para el entrenamiento de ingenieros como Superintendentes de Turno, cuya duración en su parte teórica es de cuatro meses.

El objetivo principal de introducir al profesionista en el funcionamiento de una central termoeléctrica, es para que éste conozca de manera superficial todos los sistemas que se necesitan para generar corriente eléctrica. La sede de dicho entrenamiento es la Central Escuela de Celaya, ubicada en Celaya, Guanajuato, en la que se imparten cursos teórico-prácticos a los nuevos aspirantes a Superintendentes de Turno.

Posteriormente, como parte del entrenamiento, se ubica al personal egresado en las diversas centrales de generación de todo el País con el respectivo programa de entrenamiento práctico, con el fin de ambientar y adaptar al ingeniero en su papel de Superintendente de Turno dentro del proceso de producción de energía eléctrica, y con la problemática propia de la operación de una Unidad de Generación Eléctrica; además del conocimiento físico de los equipos que la integran.

Por último, y como parte final de la capacitación, y después de haber estado en contacto directo con las actividades propias de un Superintendente de Turno, y de tener la aprobación de los titulares de dicha jefatura, se procede a la experiencia teórico-práctica del manejo del tablero de control de una Central Termoeléctrica de 300 MW mediante un tablero simulador, el cual es uno de los simuladores más avanzados del mundo.

Este simulador está ubicado en el Centro de Operadores de Ixtapa

tongo (C.A.C.I.) en Valle de Bravo, Estado de México; dicho entrenamiento dura seis semanas, y es cuando se da por concluida la etapa de entrenamiento, y el Ingeniero toma el puesto titular como Superintendente de Turno.

Las actividades que el Superintendente de Turno, ya como titular, que debe realizar, son en base a un programa que cada Central de Generación a elaborado, para mantener un control estricto de los parámetros de operación establecidos, y lograr así, el buen funcionamiento de todos los sistemas y equipos de la, o las unidades de generación bajo su total responsabilidad.

Haciendo una breve descripción de lo que un Superintendente debe realizar durante un turno, es lo siguiente: Al iniciar su ejercicio diario, debe tomar conocimiento de los acontecimientos diarios que hayan sido relevantes durante el turno y turnos anteriores, respecto de la operación, mantenimiento y pruebas en los diversos equipos de las unidades que debe supervisar.

De esta manera está enterado de los problemas y parámetros con los cuales recibe las unidades generadoras, y así su turno sea más tranquilo. Todo lo anterior lo deberá describir en forma detallada el Superintendente que entrega el turno anterior, en un cuadernillo llamado relatorio, y que cada una de las centrales cuenta para este objetivo.

Adicionalmente, también deberá realizar su recorrido y tomar lectura en todos los medidores y registradores de cada uno de los sistemas de generación en el tablero de control. En caso que algunos estén en condiciones anormales se deberá registrar y revisar los parámetros en forma física, y elaborar un plan para corregir el problema y desperfectos que lo hayan generado, y normalizar nuevamente la operación.

Uno de los principales factores que el Superintendente de Turno deberá tener siempre en cuenta, y con gran responsabilidad es la protección del equipo, la continua generación de electricidad y siempre la seguridad del personal que labora en la central.

Esto por lógica ya que una central representa una gran inversión,

y un descuido puede ser fatal si no se tienen las precauciones debidas, tanto para el personal como para los equipos.

con este propósito, y para facilitar la supervisión de cada uno de los equipos, las unidades generadoras de vapor se dividen en sistemas tales, como, sistema de agua de circulación, el sistema de agua de trabajo, el sistema de combustible, el sistema de turbina de vapor, y el sistema eléctrico. Para agilizar las maniobras, el superintendente de turno cuenta, por cada unidad de generación, con un ayudante de patio, el cual entre otras funciones, reporta todo lo referente al manejo de combustible y el estado operativo de la subestación eléctrica; un ayudante general, que tiene bajo su cargo la torre de enfriamiento, el condensador principal y los interruptores eléctricos del cuarto de máquinas; un ayudante de caldera, quien supervisa desde el tanque de uso diario de combustible (combustóleo) hasta quemadores; un ayudante químico, el cual controla la calidad del agua de trabajo (alimentación y condensado ya en el sistema); un ayudante de turbina, quien reportará los parámetros de este sistema, sobre la presión y la temperatura de vapor que esté llegando a la turbina, y por último, un operador de tablero quien mantiene la operación de los equipos a control remoto, y la generación y transmisión de la potencia eléctrica al voltaje requerido.

El superintendente de turno tiene otra función importante para lograr un buen desempeño en el trabajo del personal bajo su mando, es la capacitación constante del mismo, ya que cada uno debe aprender a capacitarse desde el puesto de menor categoría laboral, que es la de ayudante de patio, y llegar hasta la de operador de tablero y poco a poco según la capacidad personal irá llegar hasta la cabeza del grupo.

En la Central se cuenta con departamentos de apoyo, los cuales resuelven problemas específicos; tales departamentos son, el Departamento Mecánico, el Departamento Químico, el Departamento de Instrumentación, el Departamento Eléctrico, el Departamento de

Evaluación y resultados, y el Departamento de Energéticos, este último, es de nueva creación dentro de la operación de una Central Termoeléctrica, por la importancia que éste reviste, y que es administrado y controlado por un Ingeniero Petrólero capacitado desde la Superintendencia de Turno, y posteriormente pasa al departamento correspondiente.

Regresando al tema dentro de las actividades propias del Superintendente de turno; antes de concluir su jornada, tiene la obligación de recoger las hojas de registro, conocidas como hojas de lectura y proporcionadas por él, a cada uno de los ayudantes al iniciar el turno, en las cuales se anotan lecturas tomadas cada hora, de los diferentes parámetros de operación de todos los equipos. Además de esto, cada uno de los ayudantes y en forma personal, deberá vaciar en una libreta todos los datos y sus actividades de supervisión, así como el estado general del sistema o los sistemas que a él le toques supervisar; estos documentos deben ser revisados minuciosamente y en caso de anomalías, ordenar al departamento que corresponda la reparación de éstos y regresarlos a la normalidad.

El superintendente de Turno al entregar el turno al Ingeniero que sigue deberá dejar por escrito todos los acontecimientos durante su tiempo y estos deberán estar por escrito en una libreta llamada relatorio, asentando en ella también el recibo, consumo y existencia de combustible, consumo de agua de trabajo, equipo fuera de servicio, generación eléctrica (potencia, voltaje y capacidad), y el número de trabajadores laborando por unidad de generación, todo ello con el fin de que el Ingeniero que los sustituye conozca la situación y condiciones de operación del sistema en su totalidad.

Por último, se le da una explicación breve en forma verbal de lo más relevante realizado, o de las condiciones prioritarias a corregir.

De acuerdo a lo anteriormente descrito, queremos hacer hincapié, en que, aunque el presente trabajo nace de la experiencia que hemos obtenido durante el proceso de capacitación mencionado, no pre-

tende ser un compendio detallado ni complejo de la operación de una Central Generadora de Vapor, si no más bien describir en forma sencilla y objetiva sus sistemas de operación mediante un lenguaje simple y terminología fácil de entender.

Iniciamos este capítulo introductorio con una breve descripción de los antecedentes históricos de la Comisión Federal de Electricidad.

I.1. Antecedentes Históricos.

El uso de la electricidad en la República Mexicana se inició en el año de 1879, con la instalación de una Central Termoeléctrica en la Ciudad de León, Guanajuato, para satisfacer las necesidades industriales de la firma T^éxtil Harter Y Portillo. A partir de entonces se empezaron a instalar Centrales en todos los puntos importantes del país, para ser utilizadas en diversas actividades industriales. Estas Centrales y Generadoras sólo funcionaban en industrias de textil y minera, y a menudo permanecían paradas durante el tiempo no dedicado a la producción industrial, situación que no tardó en ser superada por los propietarios al concebir la idea de vender la energía eléctrica excedente para el consumo tanto público como privado.

En 1881 se establece en la Ciudad de México la Compañía Mexicana de Gas y Luz Eléctrica, primera empresa dedicada a la generación y venta de energía eléctrica para alumbrado público, transportes urbanos y usos domésticos, con una unidad generadora de vapor de 2240 Kw.

El éxito de esta empresa originó el establecimiento de otras, cuya multiplicación ocurrió en forma tal, que en el año de 1889 funcionaban ya aproximadamente 198 centrales de generación, y para 1900, todas las ciudades importantes del país contaban al menos con una empresa que les suministraba el fluido eléctrico. Estas pequeñas empresas fueron adquiridas paulatinamente por grandes consorcios extranjeros que después habrían de controlar, casi en

forma exclusiva, la industria eléctrica en México.

Al consolidarse ya la Revolución, y con base ya en la constitución de 1917, el gobierno empezó a ocuparse de la industria eléctrica, lo que correspondió a la Secretaría de Industria, Comercio y Trabajo.

El sistema con el que operaban las empresas eléctricas era el de concesiones, mismas que se multiplicaron más en función de los intereses de los concesionarios que de las necesidades del país.

En 1929 sumaban 93 empresas y eran en su gran mayoría extranjeras, tenían por objetivo llevar los beneficios de la energía eléctrica, sólo a aquellos centros de población con capacidad de pago, que pudieran garantizar el cumplimiento de sus políticas cimentadas en un ánimo de lucro desmedido.

En 1930, en el país existía una capacidad instalada de aproximadamente 350 000 KW, haciéndose notorio que el progreso, avance y extensión de los beneficios derivados de la energía eléctrica, no podían seguirse financiando en los fines de lucro que buscaban las empresas establecidas.

El gobierno se enfrentó entonces a la necesidad de construir una industria, nacional, que llevara la energía eléctrica a la pequeña y mediana industria, al campo y en general, a todos los centros de población que carecieran de ella.

El 29 de diciembre de 1933, el Congreso de la Unión autorizó al Ejecutivo Federal, mediante decreto publicado en el Diario Oficial de enero de 1934, para constituir la Comisión Federal de Electricidad, que tendría por objeto "organizar y dirigir un sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, basado en principios técnicos y económicos, sin propósito de lucro, y con la finalidad de obtener a un costo mínimo, el mayor rendimiento posible en beneficio de los intereses generales (art. 1o)".

Para el 14 de agosto de 1937, el presidente Lázaro Cárdenas expidió la Ley en Mérida, Yucatán, creó la Comisión Federal de Eléc

tricidad, haciendo uso de las facultades que le concedió el Congreso de la Unión, en materia de industria eléctrica.

Desde su creación y hasta el año de 1949, los trabajos de la Comisión Federal de Electricidad fueron de poca significación, puesto que no contaba con los recursos técnicos, económicos y humanos suficientes para emprender proyectos a nivel nacional.

El 14 de enero de 1949, se publicó la Ley Constitutiva de la Comisión Federal de Electricidad, que llegó a ser así un organismo público descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio. Para el año de 1949 se contaba con 23 plantas generadoras y una capacidad de 44 000 KW; para 1952 también ya 215 centrales de generación y una capacidad instalada de 390 000 KW.

Su desarrollo se sostuvo en forma acelerada y permanente; así, de los 8457 millones de KW que se generaron durante 1960, la Comisión Federal de Electricidad aportó 4229 millones de KWh, o sea más del 50% de la generación total; sin embargo, entregó un bloque de 1821 millones de KWh a la Compañía Mexicana de Luz y Fuerza Motriz S.A., y 701 millones de KWh a la Impulsora de Empresas Eléctricas S.A..

El 21 de abril de 1960, el Gobierno Federal compró los bienes de empresas pertenecientes a la American and Foreign Power Co.; con esta operación se inicia la nacionalización de la Industria Eléctrica, pues con la suma de las capacidades instaladas de este grupo de empresas, 369 000 KWh, a la capacidad de la Comisión Federal de Electricidad, 1 063 830 KW, el país adquirió ya el 71% de la capacidad total existente.

En el año de 1960 el Gobierno Federal adquirió el 90% de las acciones comunes y preferentes, de The Mexican Light and Power Co., tomando posesión de la misma el 27 de septiembre, fecha que ha quedado registrada en la historia de México, como el día de la Nacionalización de la Industria Eléctrica.

El proceso de nacionalización se consumó formalmente el 29 de diciembre de 1960, al hacerse una edición al artículo 27 de la Cons

titución, por lo cual se reserva en exclusividad a la Nación Mexicana lo referente a la generación, conducción, transformación, -- distribución y abastecimiento de energía eléctrica, que tenga por objeto la prestación de servicio público, sin concesiones a particulares y debiendo aprovechar los bienes y recursos naturales requeridos para estos fines.

En 1973, uno de los avances técnicos más importantes para la integración de la industria eléctrica, lo constituyó la unificación de frecuencias en el país de 60 ciclos, misma que se concluyó en 1976.

Dentro del proceso de integración del sector eléctrico, corresponde a la interconexión del sistema central en 1978, la aportación técnica más importante que permite el aprovechamiento racional de la capacidad instalada de la Comisión Federal de Electricidad, para haber y satisfacer una demanda expansiva en el país.

Actualmente, ante el aumento continuo de la demanda de electricidad en el país durante 1989, el 11.8% en el servicio doméstico, 12.6% en el agrícola y 7.2% en el industrial, la Comisión Federal de Electricidad realiza un programa de "rehabilitación y mantenimiento de Centrales Generadoras" y ha logrado elevar la disponibilidad de las hidroeléctricas al 35.3%, y de las termoeléctricas al 77.9%, para garantizar el oportuno abasto del mercado nacional.

Durante 1989 la población servida por el sector eléctrico, llegó en diciembre a 15.47 millones de usuarios, un 4.7% más que en 1988, esto en zonas conurbadas. Como resultado, al finalizar 1989, la capacidad instalada se conformó por 163 unidades hidroeléctricas, con 7760 MW, y 142 unidades termoeléctricas, con 16679 MW, generándose 24160 GWh en hidroeléctricas y 85375 GWh en termoeléctricas.

Para ello se realizaron mantenimientos en 86 unidades hidroeléctricas y 114 unidades termoeléctricas, y se logró mejorar los factores de disponibilidad y eficiencia térmica.

Como complemento cabe recordar que se terminó la construcción de la central de Aguamilpa; se terminaron las actividades de puesta en marcha de la unidad número 1 de Laguna Verde y se están generando ya en este momento 675 MW.

Se terminó la unidad número 1 de la central Adolfo López Mateos, de 350 MW, y la unidad número 2 del ciclo combinado de 70MW, y se terminó también con los programas de almacenamiento en las presas de los ríos Balsas, Grijalva y Papaloapan; y está por terminar el programa de rehabilitación de Infiernillo en donde están por concluir las labores en las unidades 3 y 4.

1.2. Centrales de Generación

El sistema eléctrico nacional requiere para la producción de energía eléctrica instalaciones principalmente Centrales Termoeléctricas.

Una Central de Generación es una instalación completa con el objetivo de producir energía eléctrica, mediante de algún energético.

La energía eléctrica se produce como resultado de una serie de transformaciones de energía (fig. 1.2.1). Estas transformaciones se realizan precisamente, dentro de la Central generadora.

La Central Eléctrica es un paquete de equipos que sirve para transformar, la energía natural de un material energético específico en energía eléctrica. El tipo de central eléctrica se determina ante todo por la especie de energía natural empleada; las que más divulgación han tenido son las Centrales Termoeléctricas, en las que se usa la energía térmica que se libera al quemar combustible orgánico, y en menor grado, las Hidroeléctricas, las cuales utilizan las corrientes y caídas de agua.

En las Centrales Termoeléctricas se genera al rededor del 75% de la energía de nuestro planeta, esto se debe a que en casi todas las regiones del mundo, existe combustible orgánico y la posibilidad de transportarlo desde el lugar de su extracción hasta la planta de generación.

Entre los diversos tipos de centrales de generación, la diferencia se encuentra en la forma de la energía disponible y en las transformaciones que presenta ésta hasta generar electricidad; por supuesto esto implica equipos y dispositivos diferentes para cada tipo de central.

La distribución total de la generación en México se muestra claramente, en forma tabular y gráficamente en la (fig. 1.2.2.).

Las Centrales Termoeléctricas son sumamente importantes en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN), por su número y capacidad de generación.

La fuente de energía disponible es un combustible, tales como - combustóleo (Bunker-C), gas, Diesel o Carbón aunque las que emplean este último las denominan, en forma independiente, Carboeléctricas.

En una Central Termoeléctrica, la energía se encuentra almacenada en el combustible, principalmente combustóleo, de acuerdo a su composición química, liberándose tal energía mediante la combustión, teniendo lugar la primera transformación de energía química en el combustible, a energía en forma de calor en la flama y en los gases producto de la combustión. Dicha combustión se realiza en un lugar del generador de vapor de la planta; en el mismo generador, la energía calorífica se emplea para calentar agua hasta convertirla en vapor, mediante el intercambio de calor de los gases de agua; el vapor resultante tiene cierta energía térmica, debido a su temperatura que se transformará, o mejor dicho se empleará para producir trabajo mecánico en una turbina de vapor, que al estar acoplada mecánicamente a un generador eléctrico, en combinación de un sistema de excitación, logra el objetivo final que es la obtención de energía eléctrica (Fig. 1.2.3).

Todo el equipo de una central termoeléctrica es importante, pero los equipos principales, de acuerdo con su participación directa en el proceso de generación de electricidad, son el generador de vapor, la turbina de vapor, con el condensador principal acoplado a ella y el generador eléctrico (Fig. 1.2.4.).

La central de generación ideal se pueda explicar en forma muy sencilla, el agua que suministra inicialmente al generador de vapor - comúnmente llamado boiler - donde se calienta con la ayuda de un combustible hasta obtener vapor de ciertas características de presión y temperatura; al alcanzar dichas condiciones, el vapor es descargado y suministrado a la turbina donde se expande, y hace girar la flecha en la que también está sustentado el generador eléctrico, el cual mediante su giro, al enfrentarse a un excitador eléctrico, produce energía eléctrica.

El vapor, por la diferencia de presiones y temperaturas entre -

la entrada y la salida, o escape, de la turbina, se condensa, se -
transforma de vapor a líquido en el condensador principal; puesto -
que la presión del líquido en el condensador es mucho menor que -
la presión del vapor en el generador de vapor, el agua se bombea -
con los sistemas denominados, sistema de condensado y sistema de -
agua de alimentación, hasta alcanzar la presión necesaria para intro -
ducir el agua en la caldera, que es solo una parte del generador -
de vapor, donde se calienta hasta generar vapor, para terminar el -
ciclo de esta manera.

Un diagrama más real de un ciclo de una Central Termoeléctrica -
se muestra en la figura 1.2.5, donde se puede observar el equipo -
característico de una central de generación convencional, aprecián -
dose los elementos esenciales del equipo principal.

Solo para hacer más comprensible la figura, podemos agregar -
que, un Domo es un resonador agua vapor, y el Recalentador, los -
Sobrecalentadores, el Economizador, el Desareador, o desaerador, o -
desgasificador, y los calentadores de baja y alta presión, son ---
intercambiadores de calor.

El ciclo termodinámico de una central convencional es denomina -
do Ciclo Rankine con sobrecalentamiento y recalentamiento y se -
representa en la (Fig. 1.2.5) en un diagrama de fase Temperatura -
Entropía (T-S), el cual puede explicarse brevemente.

De A a B, se logra un calentamiento inicial del agua dentro del -
generador principal, pues la entrada a éste, comienza en el econo -
mizador localizado en los ductos de salida de los gases producto -
de la combustión, que aún conservan cierto poder calorífico.

De B a C, se realiza la evaporación en la caldera del generador -
de vapor, a presión y temperaturas constantes, pues es un cambio -
de fase.

De C a D, se presenta la etapa de sobrecalentamiento que se -
realiza, al vapor ya producido, en el sobrecalentador (RH).

De D a E, se realiza una expansión del vapor en la turbina de -
alta presión (TAP).

De P a G, se introduce el vapor al recalentador (RH) para recuperar su poder calorífico, es decir, que se recalienta el vapor, antes de entrar a la turbina de presión intermedia (TPI).

La línea de entrada al recalentador se denomina recalentado frío (RHF), y la línea de salida, recalentado caliente (RHC), esto no significa que la línea de RHF esté a una temperatura que puede considerarse fría (superior a 500 grados centígrados).

En la línea de RHF existe una extracción de cierto porcentaje de vapor conocida como extracción 7 (E7).

De G a H, se realiza una expansión de vapor en la TPI; en una etapa intermedia de esta turbina y a la salida de ella, hay extracciones de vapor, E5 y E6, respectivamente.

De H a I, se continúa la expansión del vapor, ahora en la turbina de baja presión (TBP) que tiene dos sentidos de flujo del vapor, el cual entra por la parte central de esta turbina; en las cuatro etapas intermedias de ambos flujos de vapor, existen las respectivas extracciones, E4, E3, E2 y E1.

En la TBP el vapor llega a condensarse adquiriendo cierta humedad; pero es en el condensador, de I a J, donde se realiza el cambio total de la fase gaseosa a la fase líquida; de J a K, se realiza la primera etapa de bombeo, mediante las bombas de condensado, del agua hacia la caldera.

De K a L, se presentan etapas de calentamiento del líquido condensado en los calentadores de baja presión números 1, 2, 3, y 4, empleando el vapor de las extracciones de la TBP en el siguiente orden, E1, E2, E3, y E4, a los calentadores 1, 2, 3, 4, respectivamente, el desgasificador se considera indistintamente de baja presión.

De la L a M, se lleva a cabo una segunda etapa de bombeo para la alimentación de la caldera, por medio de las bombas de agua de alimentación.

Y finalmente en el tramo M-N, se tienen las etapas de calentamiento de calentamiento en las que se utiliza el vapor de las tur-

binas de vapor TPI y TPA, de la manera siguiente, de E5 y E6 de la TPI a los calentadores 5 y 6, respectivamente, y de E7 de la salida de TPA al calentador 7, cerrandose el ciclo; en el ciclo se considera el desgasificador como el calentador 5.

Regresando a la generalidad de las centrales eléctricas, el suministro de electricidad a lo largo y ancho del territorio mexicano, es una realidad gracias a la interconexión del Sistema Eléctrico Nacional, mediante la ubicación estratégica de las unidades generadoras donde se tienen condiciones favorables como agua en abundancia, facilidad para la recepción del combustible, clima, suelo entre otros factores.

Para enlazar sistemas y distribuir la energía eléctrica a diferentes valores de voltaje, se cuenta con subestaciones eléctricas situadas en puntos estratégicamente estudiados para optimizar la transmisión de energía.

El sistema interconectado se compone de un anillo de 400 KV, siendo el voltaje más alto de transmisión. Dicho anillo no abarca a todo el país, pero se conecta a líneas de 230, 115, 161 y 13.8Kv para poder cubrir en parte el territorio nacional. Además existen dos zonas independientes que corresponden a las penínsulas de Baja California y la Península de Yucatán; dichas zonas utilizan los mismos voltajes de transmisión (Fig. I.2.6).

Para mantener un mejor control así como una administración adecuada, la Comisión Federal de Electricidad ha dividido el país en regiones de generación eléctrica, tales como:

- Región Norpacífico en Hermosillo, Sonora.
- Región Norte Centro en Gómez Palacio, Durango.
- Región Noreste en Monterrey, Nuevo León
- Región Central Tenayuca, Estado de México.

binas de vapor TPI y TPA, de la manera siguiente, de E5 y E6 de la TPI a los calentadores 5 y 6, respectivamente, y de E7 de la salida de TPA al calentador 7, cerrandose el ciclo; en el ciclo se considera el desgasificador como el calentador 5.

Regresando a la generalidad de las centrales eléctricas, el suministro de electricidad a lo largo y ancho del territorio mexicano, es una realidad gracias a la interconexión del Sistema Eléctrico Nacional, mediante la ubicación estratégica de las unidades generadoras donde se tienen condiciones favorables como agua en abundancia, facilidad para la recepción del combustible, clima, suelo entre otros factores.

Para enlazar sistemas y distribuir la energía eléctrica a diferentes valores de voltaje, se cuenta con subestaciones eléctricas situadas en puntos estratégicamente estudiados para optimizar la transmisión de energía.

El sistema interconectado se compone de un anillo de 400 KV, siendo el voltaje más alto de transmisión. Dicho anillo no abarca a todo el país, pero se conecta a líneas de 230, 115, 161 y 13.8Kv para poder cubrir en parte el territorio nacional. Además existen dos zonas independientes que corresponden a las penínsulas de Baja California y la Península de Yucatán; dichas zonas utilizan los mismos voltajes de transmisión (Fig. I.2.6).

Para mantener un mejor control así como una administración adecuada, la Comisión Federal de Electricidad ha dividido el país en regiones de generación eléctrica, tales como:

- Región Norpacífico en Hermosillo, Sonora.
- Región Norte Centro en Gómez Palacio, Durango.
- Región Noraste en Monterrey, Nuevo León
- Región Central Tenayuca, Estado de México.

SISTEMA ELECTRICO NACIONAL

SISTEMA INTERCONECTADO Y AREAS INDEPENDIENTES



CENTRAL ESCUELA CELAYA



16

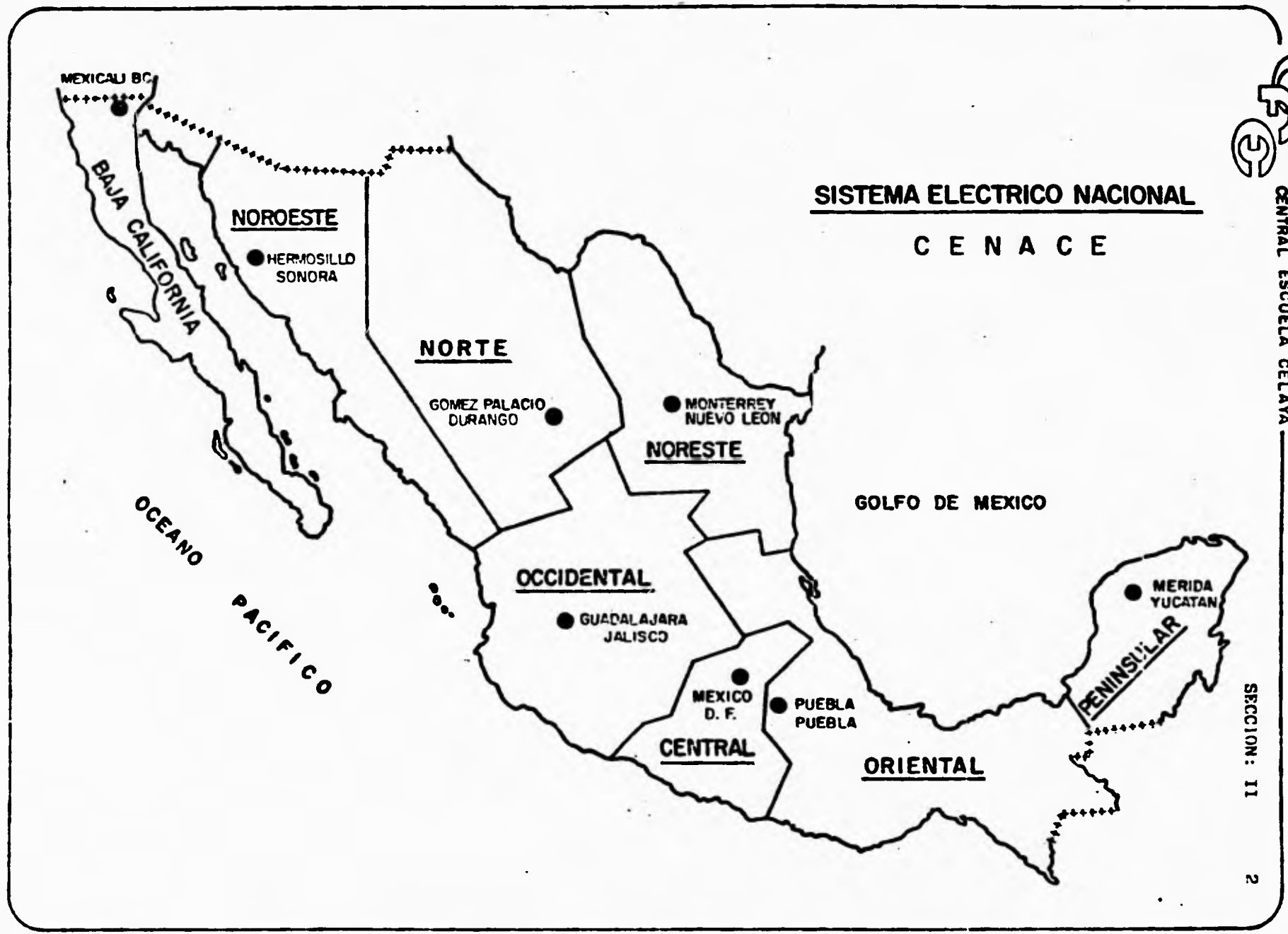
——— 400 KV
 ——— 230 KV
 - - - - 115, 161, 13.8 KV
 NOTA: NO SE MARCAN ENLACES DE DOBLE LINEA

-Región Golfo en Jalapa, Veracruz.

Estas regiones a su vez se dividen en áreas (Tablas I.2.1 a I.2.10),
(Fig. I.2.7).



SISTEMA ELECTRICO NACIONAL
C E N A C E



SECCION III.CENTRALES GENERADORAS MAS IMPORTANTES, POR AREA DE CONTROL.

AREA DE CONTROL NOROESTE

NOMBRE DE LA CENTRAL	UNIDADES	TIPO	CAPACIDAD MW	CAPACIDAD MW
GUAYMAS II	1,2	V	84	
	3,4	V	158	484
MAZATLAN II	1,2	V	158	
	3	V	300	616
PUERTO LIBERTAD	1,2	V	158	316

AREA DE CONTROL CENTRO NORTE

FRANCISCO VILLA	1,2,3	V	33	
	4,5	V	158	415
SAMALAYUCA	1,2	V	158	316

AREA DE CONTROL NORESTE

ALTAMIRA	1,2	V	158	
	3,4	V	300	916
EMILIO PORTES GIL	1,2	V	37.5	
	3	V	300.0	
	4	C.C.	30.0	405
HUINALA	1,2,3,4	C.C.	63.7	254.8
RIO ESCONDIDO	1,2	V	300	600



TEMA: SISTEMA ELECTRICO NACIONAL

SECCION: III

2

MONTERREY	1,2,3	V	75	477
	4,5,6	V	84	

AREA DE CONTROL OCCIDENTAL

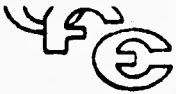
MANZANILLO 1	1,2,3,4	V	300	1200
SALAMANCA	1,2	V	158	976
	3,4	V	300	
	1	T.G.	60	

AREA DE CONTROL CENTRAL

VILLITA	1,2,3,4	H	75	300
TULA	1,2,3,4,5	V	300	1877.36
	1,2	C.C.	92.24	
	3,4	C.C.	96.44	
INFIERNILLO	1,2,3,4	H	168	1032
	5,6	H	180	
VALLE DE MEXICO	1,2,3	V	158	774
	4	V	300	
SAN LUIS POTOSI	1,2	V	350	700

AREA DE CONTROL ORIENTAL

LA ANGOSTURA	1,2,3,4,5	H	180	900
CHICOAZEN	1,2,3,4,5	H	300	1500
MAL PASO	1,2,3,4,5,6	H	180	1080



TEMA: SISTEMA ELECTRICO NACIONAL

SECCION: III

3

DOS BOCAS	1	V	10	446.5
	2	V	16.5	
	1,2,3,4	C.C.	65.0	
	5,6	C.C.	80	

AREA DE CONTROL LA PAZ

TIJUANA	1,2,3	V	75	370.46
	4	V	82	
	1,2	T.G.	31.73	

AREA DE CONTROL PENINSULAR

MERIDA II	1,2	V	84	198
	1	T.G.	30	

I.3 CONCEPTOS Y DEFINICIONES.

I.3.1 TERMODINAMICA ELEMENTAL.

La Termodinámica es la ciencia que trata de la transformación de la energía, y de las propiedades de las sustancias involucradas. La Termodinámica interviene en motores de combustión interna, aire acondicionado y refrigeración, centrales de generación de vapor, etc. Por ello representamos algunos conceptos y definiciones básicas.

Sistema Termodinámico, es una porción de espacio o cantidad de materia que se selecciona para propósitos de análisis.

Todo lo ajeno se conoce como alrededores y el límite real o hipotético entre el sistema y los alrededores se denomina frontera o límite del sistema.

Los sistemas termodinámicos generalmente se clasifican en dos categorías: sistemas cerrados y sistemas abiertos.

Se dice que un sistema cerrado si no hay transferencia de masa entre el sistema mismo y sus alrededores. Por ejemplo un fluido encerrado en un recipiente o el aire en un cuarto sin fugas. Por el contrario en un sistema abierto se da la transferencia de masa entre el sistema y sus alrededores, como ejemplo podemos citar bombas, compresores o intercambiadores de calor.

En algunas circunstancias, un sistema puede ser abierto o cerrado simultáneamente a medida que el tiempo transcurre. Un ejemplo típico es el cilindro de un motor de combustión interna.

Existen algunos sistemas cerrados en los cuales además de no presentarse transferencia de masa entre el sistema y sus alrededores. Este tipo de sistema se conoce con el nombre de sistema aislado.

Propiedad Termodinámica.- Es una característica de un sistema, la cual podemos observar directa o indirectamente y no depende de la historia del proceso, en otros términos, una propiedad es una función puntual y no depende de la trayectoria.

Las propiedades termodinámicas se clasifican en propiedades ex -

tensivas y propiedades intensivas.

Las propiedades extensivas dependen de la masa del sistema como el peso, el volumen, la masa, la energía interna, la entalpía y la entropía. Las propiedades intensivas no dependen de la masa y del sistema tal como la densidad, la presión y todas las propiedades específicas.

La definición general de una propiedad específica es :

Propiedad específica = propiedad extensiva/Masa del sistema.

En el caso de un sistema homogéneo, una propiedad intensiva tiene igual valor en todo el sistema, y en cualquier parte de éste, mientras que el valor de una propiedad extensiva en todo el sistema en estudio es igual a la suma de los valores de las diferentes partes que lo constituyen.

La descripción completa de la condición o estado de un sistema en un instante dado se hace a través de sus propiedades termodinámicas. Por consiguiente el estado de un sistema queda identificado por el conjunto de valores que tienen las propiedades termodinámicas en ese instante; por otra parte, el sistema se encuentra en estados idénticos si las propiedades tienen los mismos valores respectivamente en dos estados de tiempos diferentes.

Se considera que una sustancia se encuentra en equilibrio termodinámico cuando sus propiedades cambian lentamente o son incapaces de cambiar de estado espontáneamente, con las condiciones que les imponen los alrededores. En otras palabras, un sistema se encuentra en equilibrio termodinámico si, al ser aislado, no experimenta ningún cambio de estado, esto es, si las propiedades termodinámicas permanecen invariablemente con el tiempo, lo cual implica que el sistema se encuentra en equilibrio térmico, mecánico, eléctrico y químico (Fig. I.3.1.1).

Una condición necesaria, pero no suficiente, para que un sistema se encuentre en equilibrio termodinámico, es que sea homogéneo, o que esté constituido por varias partes homogéneas que estén en contacto. Proceso. Es la acción de pasar de un estado termodinámico a otro también termodinámico.

Trayectoria, es el camino seguido por el proceso, es decir, es el conjunto de estados que atraviesa un sistema al realizar un proceso.

Ciclo, es un proceso o conjunto de procesos que hacen regresar el sistema al estado original. Por lo tanto, en un ciclo termodinámico - todas las propiedades adquieren los mismos valores iniciales una vez - concluido dicho ciclo.

En forma analítica:

$$\oint dx = 0$$

donde x , es cualquier propiedad termodinámica

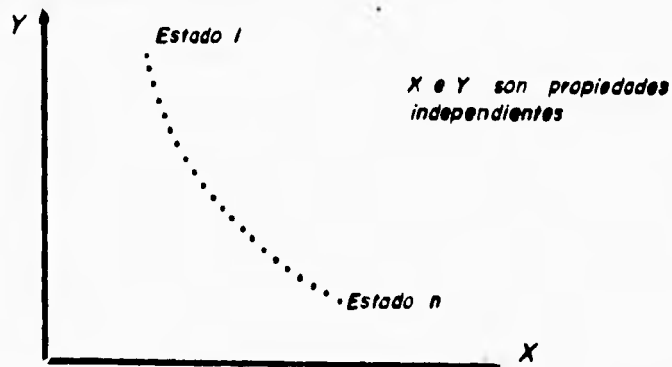


Figura 2.3.1.1

Presión. Aún cuando básicamente se define como fuerza por unidad de área, es importante distinguir los varios tipos de presiones (Fig. 1.3.1.2).

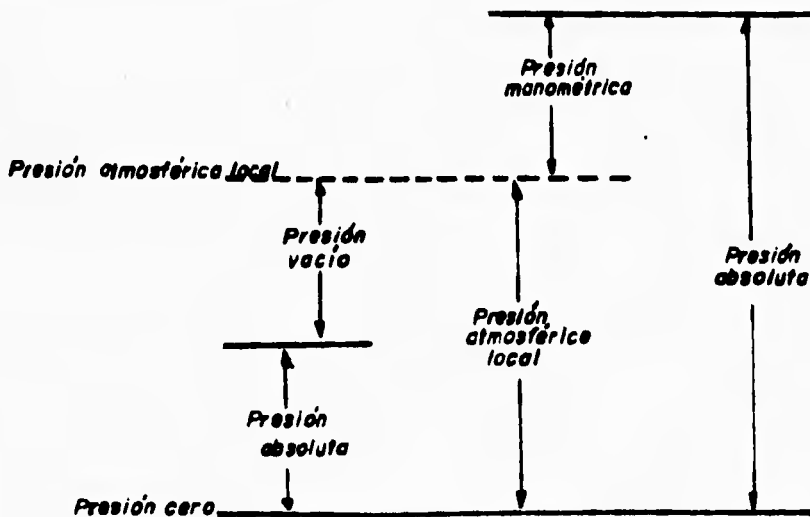


Fig. 1.3.1.2

Temperatura. Es una propiedad comúnmente empleada, fácil de medir pero difícil de definir, generalmente se asocia con la actividad molecular del sistema, o se define indirectamente.

Ley Cero de la Termodinámica.- Si dos cuerpos están en equilibrio térmico con un tercero, los tres cuerpos están en equilibrio térmico entre sí. Es precisamente este axioma el que predice la existencia de una propiedad cuyo valor es el mismo para todos los sistemas que se hallan en equilibrio térmico.

Trabajo. Es una interacción energética entre un sistema y sus alrededores, a través de aquellas porciones de los límites del sistema en que no hay transferencia de masa, como consecuencia de una propiedad intensiva distinta de la temperatura.

Solamente puede existir trabajo a través de aquellas porciones de los límites del sistema en que no haya transferencia de masa; además de imposible tratar de determinar un trabajo de un sistema haciendo referencia solamente a éste, ya que el trabajo es energía en tránsito a través de los límites del sistema, y es una interacción entre este y sus alrededores, lo cual significa que el trabajo es de naturaleza transitoria y no puede almacenarse en el sistema.

Generalmente la diferencia de presión entre un sistema que no es rígido y sus alrededores origina una fuerza que puede dar origen al trabajo mecánico cuando hay desplazamiento de una manera análoga al par en una flecha de potencia origina un desplazamiento angular en ésta.

Algunos sistemas en los cuales se puede observar el trabajo hecho por/sobre un sistema son toberas, difusores, turbinas, compresores, etc. El trabajo para un sistema cerrado se obtiene :

por unidad de masa

donde, v es la diferencial del volumen específico para lo cual se necesita conocer la trayectoria del proceso.

La definición anterior no considera trabajo de fricción, por lo

tanto es el trabajo; o máximo que se puede obtener.

La expresión para el trabajo cíclico es:

$$\oint P dv = W_c$$

donde W_c es el trabajo neto

Si el sistema cerrado experimenta cambios significativos en velocidad y altura, el trabajo total hecho por el sistema es expresado así:

$$w = \int_{v_1}^{v_2} P dv - \frac{\bar{v}_2^2 - \bar{v}_1^2}{2} - g(z_2 - z_1)$$

donde, \bar{v} es la velocidad

z es la altura

$$\frac{\bar{v}_2^2 - \bar{v}_1^2}{2} = \text{Cambio de energía cinética que sufre el sistema}$$

$g(z_2 - z_1) = \text{Cambio de energía potencial que sufre el sistema}$

Si se considera un sistema cerrado rígido en el cual el medio de trabajo es perturbado desde los alrededores con un agitador.

$$\int P dv = 0$$

puesto que el volumen se mantiene constante, pero el trabajo es diferente a cero. De hecho, en este caso en que interviene la fricción, la ecuación:

$$w = \int P dv$$

no es aplicable.

Para obtener la expresión del trabajo en un sistema abierto, se requiere cierta cantidad de energía, suministrada por los alrededores para introducir una masa unitaria al sistema; de manera análoga, se requiere también que el sistema suministre energía para expulsar la masa unitaria. Esta energía se conoce como "energía de flujo" la cual no es trabajo de acuerdo a la definición termodinámica ya que es realmente una propiedad.

La energía de flujo queda definida como:

$$\dot{W}_f = P \dot{m}$$

por unidad de masa

$$W_f = P\dot{v}$$

donde, \dot{m} es el flujo de masa ($\dot{m} = P\bar{v}A$)

Por consiguiente:

$$dw = dW - d(Pv)$$

$$o. \quad dw = Pdv - d(E.C.) - d(E.P.) - Pdv - vdp$$

donde, $dw_{s.c.}$ es la diferencial del trabajo para un sistema cerrado.

$d(E.C.)$ es la diferencial de la energía cinética

$d(E.P.)$ es la diferencial de la energía potencial

finalmente el trabajo total se obtiene así:

$$w = - \int_{P_1}^{P_2} vdp - \frac{\bar{v}_2^2 - v_1^2}{2} - g(z_2 - z_1) \text{ (S.A.)}$$

para calcular la potencia:

$$\dot{w} = \dot{m}w$$

Cuando w es igual a cero, la expresión del trabajo para un sistema abierto se convierte en la ecuación de Bernoulli, la cual implica que el sistema opera sin fricción.

La potencia calculada representa el valor máximo que el sistema puede desarrollar.

Calor, es la interacción energética entre un sistema y sus alrededores, a través de aquellas porciones de los límites del sistema en que no hay transferencia de masa como consecuencia de temperatura entre el sistema y sus alrededores, y se transfiere de mayor a menor temperatura.

El calor es energía en tránsito a través de los límites del sistema en que no hay transferencia de masa y por consiguiente, no puede almacenarse.

El calor se transfiere de mayor a menor temperatura y es la transferencia de energía se realiza como consecuencia única y exclusivamente de una diferencia de temperatura entre el sistema y sus alrededores. -

Un proceso en el que el sistema permanece aislado térmicamente

de sus alrededores, se denomina proceso adiabático y el calor es, idénticamente igual a cero.

El calor generalmente se determina en cualquier sistema a través de los cambios de energía que originan éste dentro del sistema o en sus alrededores.

Primera Ley de Termodinámica

Las únicas interacciones energéticas que pueden ocurrir a través de los límites o fronteras de un sistema cerrado son trabajo y calor.

La cantidad neta de calor suministrado a un sistema cerrado en cualquier ciclo termodinámico es igual al trabajo neto desarrollado por éste.

Si el trabajo lo realiza el sistema lo consideraremos positivo y si lo realizan los alrededores, negativo. En cambio si el calor es suministrado al sistema será positivo y si es disipado del sistema, negativo.

Por tanto,

$$\oint dQ = \oint dw$$

donde, \oint representa una integral cíclica.

dQ es la diferencial de calor

$$\oint dQ - \oint dw = 0$$

En esencia, la primera Ley de la Termodinámica puede enunciarse:

"El calor neto agregado a un sistema que opera cíclicamente es igual en magnitud al trabajo neto desarrollado por éste"

Este principio axiomático postula la existencia de una importante propiedad extensiva del sistema, E , y un cambio en el valor de ésta entre dos estados cualquiera, es numéricamente igual a la diferencia entre el calor neto agregado a un sistema cerrado, y el trabajo neto desarrollado por éste en el proceso.

Esta relación puede expresarse:

$$Q - w = \Delta E$$

por unidad de masa:

$$q - w = \Delta e$$

donde, $\Delta e = e_2 - e_1$ es el cambio de energía del sistema.

En el caso de un sistema aislado, la energía del sistema permanece invariable, puesto que $Q = W = 0$

$$0 = \Delta E$$

Lo cual implica que: "La energía no se crea ni se destruye en los procesos; solamente se transforma"

La energía del sistema incluye varios tipos de energía:

$$E = U + E.C. + E.P. = U + \frac{m\bar{v}^2}{2} + mgz$$

por unidad de masa:

$$e = u + \frac{\bar{v}^2}{2} + gz$$

donde u , es la energía interna específica.

En ausencia de cambios significativos en energía cinética y potencial la primera Ley de la Termodinámica para un sistema cerrado se reduce a:

$$Q - W = \Delta U$$

por unidad de masa

$$q - w + \Delta u$$

Entalpía, es una propiedad termodinámica que no tiene ningún sentido o interpretación física y constituye solamente una agrupación de propiedades que se presentan frecuentemente en los análisis termodinámicos. Se define:

$$H = U + PV$$

por unidad de masa

$$h = u + pv$$

En entalpía lo mismo que en energía interna, solo se pueden establecer diferencias y no valores absolutos.

Para un sistema abierto la primera Ley de la Termodinámica puede expresarse como:

$$\dot{Q} - \dot{W} + \dot{E}_{f1} - \dot{E}_{f2} = 0$$

El balance anterior implica que la energía almacenada o contenida E , en el sistema permanece constante. O sea que todas las propiedades termodinámicas del sistema permanecen invariables con el tiempo de ope-

rar éste en estado estable.

E_f es el flujo de energía asociada con el fluido que entra o sale del sistema

e_f es la energía por unidad de masa

$$e_f = u + \frac{\bar{v}^2}{2} + gz + Pv$$

$$o \quad e_f = h + \frac{\bar{v}^2}{2} + gz$$

Teniendo en cuenta que el flujo de masa es constante

$$\dot{Q} - \dot{W} + H_1 - H_2 + \dot{m} \frac{\bar{v}_1^2 - \bar{v}_2^2}{2} + \dot{m}g(z_1 - z_2)$$

por unidad de masa

$$q - w + h_1 - h_2 + \frac{\bar{v}_1^2 - \bar{v}_2^2}{2} + g(z_1 - z_2)$$

$$o \quad q - w = h_2 - h_1 + \frac{\bar{v}_2^2 - \bar{v}_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)$$

Generalizando, la ecuación de la primera Ley de la Termodinámica para cualquier sistema queda:

$$\dot{Q} - \dot{W} + \sum_k \dot{m}_k (h_k + \frac{\bar{v}_k^2}{2} + gz_k) - \sum_L \dot{m}_L (h_L + \frac{\bar{v}_L^2}{2} + gz_L) = \dot{E}$$

donde, \sum es una sumatoria.

k es el subíndice de la k-ésima entrada

L es el subíndice de la l-ésima salida

además, el principio de conservación de masa queda:

$$\sum_k \dot{m}_k - \sum_L \dot{m}_L = \dot{m}$$

I.3.2 MAQUINAS TERMICAS Y EFICIENCIA

Máquina térmica, es un sistema que recibe calor y desarrolla trabajo mientras realiza un ciclo termodinámico (Fig. I.3.2.1).

Analizando toda la Central de Generación como un sistema cerrado

$$\oint dQ = \oint dW$$

desarrollando por elementos:

$$\oint dQ_{\text{caldera}} + \oint dQ_{\text{condensador}} + \oint dW_{\text{turbina}} + \oint dW_{\text{bomba}}$$

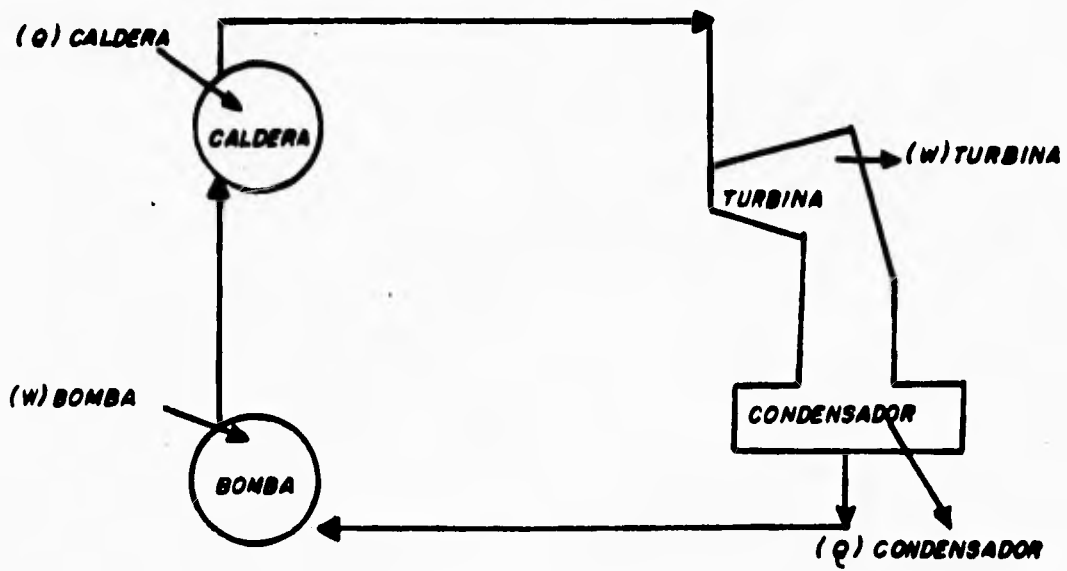


Fig. 1.3.2.1 Planta de generación de vapor

$$Q \text{ caldera} + Q \text{ condensador} = W \text{ turbina} + W \text{ bomba}$$

finalmente,

$$Q \text{ caldera} - |Q \text{ condensador}| = W \text{ turbina} - |W \text{ bomba}|$$

Puesto que no todo el calor suministrado al sistema se convierte en trabajo positivo, la eficiencia térmica se define como la fracción del calor suministrado al sistema en el ciclo termodinámico que se convierte en trabajo neto positivo.

$$n = \frac{\oint dW}{Q \text{ suministrado}}$$

$$n = \frac{Q \text{ caldera} - |Q \text{ condensador}|}{Q \text{ caldera}}$$

$$\text{por tanto, } n = 1 - \frac{|Q \text{ condensador}|}{Q \text{ caldera}}$$

I.3.3 CALORIMETRIA DEL AGUA

Cuando al agua se le comunica energía calorífica, varía su entalpía y su estado físico. A medida que tiene lugar el calentamiento, la temperatura del fluido aumenta y por lo regular su densidad disminuye la rapidez de la vaporización depende de la velocidad con la cual se transmite el calor al agua y de su movimiento en el recipiente donde está confinado. El vapor así formado, si bien se halla en el estado gaseoso, no sigue enteramente las leyes de los gases perfectos.

La temperatura a la cual se produce la ebullición depende de la pureza del agua y de la presión absoluta ejercida sobre ella. Para el agua pura la temperatura de ebullición tiene un valor determinado para cada presión y es menor a bajas que a altas presiones. Así, a una presión absoluta de 1 bar el agua se encuentra en su fase líquida en un amplio rango de temperatura, sin embargo, a esta presión y a una temperatura de 99.03° C, ésta puede encontrarse como líquido, como vapor, o como una mezcla de líquido y vapor.

Existe una correlación entre la presión y la temperatura para la coexistencia de dos fases en equilibrio, esto es, a una presión dada corresponde una temperatura única en la que las fases de líquido y vapor puede coexistir un equilibrio.

La presión y la temperatura no son propiedades independientes, - puesto que la una depende de la otra durante la coexistencia líquido y vapor y existe ambigüedad en la determinación del estado termodinámico. Es decir, este par de propiedades no especifica si la substancia se encuentra como líquido, como vapor o como mezcla de ambos.

Las condiciones de presión y temperatura en que dos fases coexisten en equilibrio se llaman condiciones de saturación, y la presión y temperatura correspondientes se denominan presión de saturación respectivamente. Cualquier fase que exista bajo estas condiciones se conoce como fase saturada.

Para mostrar este comportamiento de las fases participantes se sigue el proceso:

Realidad \implies Modelo matemático (Ecuación de estado) \implies Diagrama o tablas.

Los diagramas denominados diagramas de fases nos muestran cualitativa y cuantitativamente, cuando se grafican, los valores de dos propiedades independientes. El comportamiento del fluido de trabajo, en este caso el agua. (Fig. I.3.3.1).

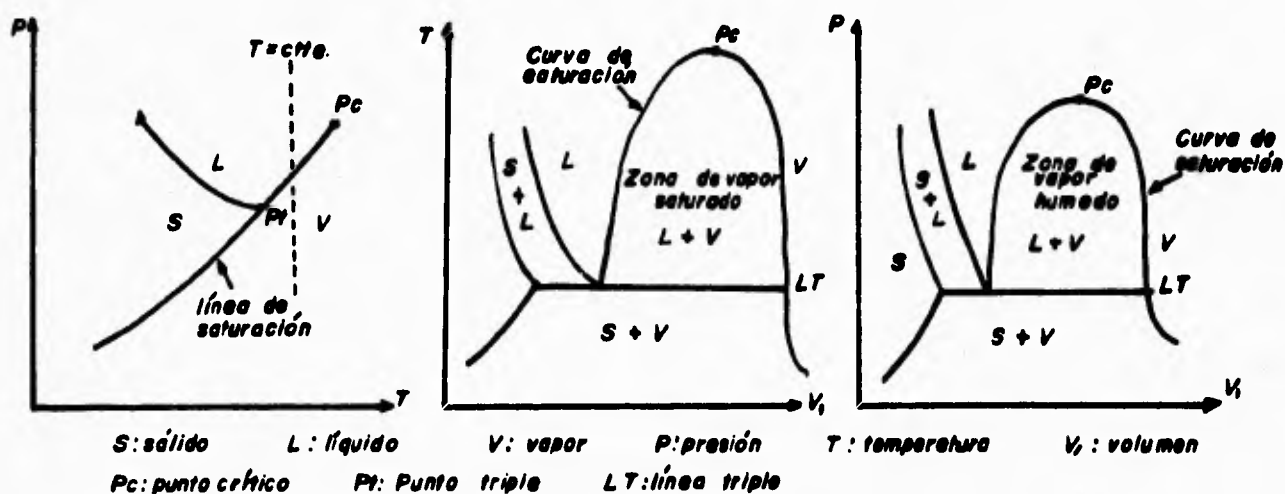


FIG. I.3.3.1

Del diagrama P-T se observa que el agua, en este caso puede vaporizarse a lo largo de esta línea en un rango de presiones y temperaturas muy extenso.

En la (Fig. I.3.3.2) el área que se halla bajo la curva de saturación ACB se conoce como región húmeda, y la mezcla existente de líquido-vapor en esta región se conoce como vapor húmedo, por otro lado, la línea AC corresponde a los estados de líquido saturado y la línea CB a los estados de vapor saturado-seco. El punto C, en el cual el volumen específico del líquido saturado es igual al del vapor saturado seco, se denomina punto crítico, este punto corresponde a la presión máxima en donde la fase líquida y la fase de vapor pueden coexistir en equilibrio.

Todo líquido cuyo estado termodinámico se encuentra localizado a la izquierda de la línea de saturación AC tiene denominación de líquido subenfriado o líquido comprimido. Esto implica que la temperatura del líquido es menor que la temperatura de saturación para la presión dada, o que la presión es mayor que el correspondiente valor de saturación para la temperatura dada.

Se denomina vapor sobrecalentado o recalentado el vapor cuyo estado termodinámico queda localizado a la derecha de la curva de saturación CB

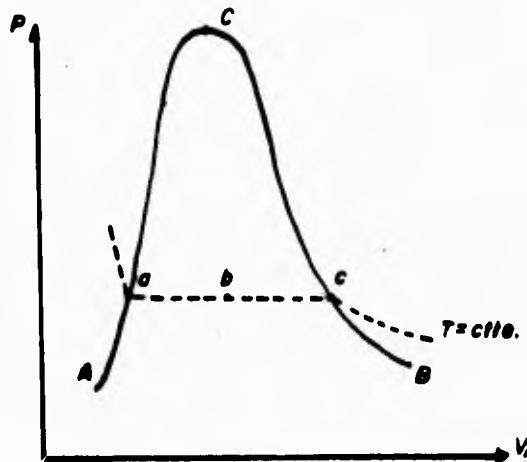


FIG. I.3.3.2

A presiones supercríticas solamente existe una fase, líquido comprimido con temperatura subcrítica y como vapor sobrecalentado el fluido a temperatura crítica. o supercrítica.

La presión y la temperatura del líquido comprimido o del vapor sobrecalentado son propiedades independientes, puesto que la tempe-

temperatura puede aumentar mientras la presión permanece constante y viceversa. Por el contrario, en el mismo diagrama P-v se observa que, a determinada presión de saturación, la temperatura de saturación correspondiente permanece constante; en consecuencia, la presión, y la temperatura no son propiedades independientes en todos los estados en que dos fases coexisten en equilibrio.

Así, los estados a, b, y c de la Fig. I.3.3.2, tienen los mismos valores de presión y temperatura. Sin embargo, la presión y el volumen definen en forma precisa el estado termodinámico de los mismos.

El estado a que queda determinado al especificar la presión o temperatura de saturación y el volumen específico del líquido saturado (V_f); de manera análoga, el estado c, también queda definido al especificar la presión y temperatura de saturación y el volumen específico del valor saturado seco (v_g).

Para poder definir el estado termodinámico de b, esto es, de cualquier estado comprendido entre a y c, se puede especificar la presión o temperatura de saturación y el volumen específico; para fijar éste último, se considera la mezcla de líquido y vapor que constituye el vapor húmedo.

Por definición,

$$V = \frac{V_{\text{líqu}} + V_{\text{vap}}}{M_{\text{líqu}} + M_{\text{vap}}} = \frac{M_{\text{líqu}} v_f + M_{\text{vap}} v_g}{M_{\text{líqu}} + M_{\text{vap}}}$$

los subíndices líq y vap se refieren respectivamente, al líquido y vapor.

El título o calidad (x) se define como la cantidad de masa de vapor existente en la mezcla de líquido y vapor.

$$x = \frac{M_{\text{vap}}}{M_{\text{líqu}} + M_{\text{vap}}}$$

El volumen específico del vapor húmedo queda expresado como :

$$v = v_f + x (v_g - v_f)$$

se tiene que, $v_{fg} = v_g - v_f$

por lo que:

$$v = v_f + xv_{fg}$$

El estado b, queda perfectamente definido al especificar la presión o temperatura de saturación el título. Al asignar un valor numérico a éste último, implícitamente se fija el volumen específico.

El título puede considerarse como una propiedad intensiva y expresada decimalmente y varía entre cero y la unidad.

En el diagrama P-h de la (Fig. I.3.3.3), la línea A C corresponde a los estados del líquido saturado; la línea CB a los de vapor saturado seco y C corresponde al punto crítico.

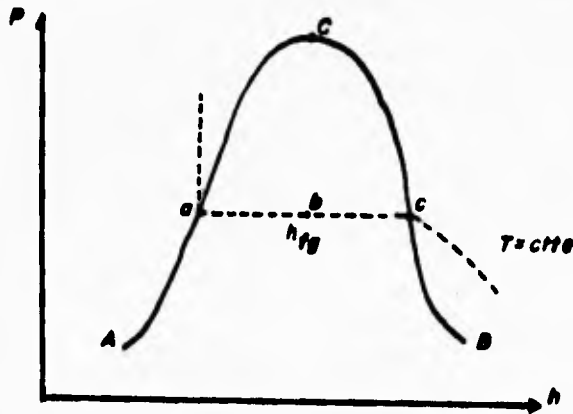


Fig. 2.3.3.3

Calor sensible, es la cantidad de energía calorífica que se debe agregar o extraer a una sustancia para provocarle un cambio de temperatura sin que exista un cambio en la fase, manteniendo la presión constante.

Calor latente, es la cantidad de energía calorífica que se debe agregar o extraer de una sustancia para provocarle un cambio de fase manteniendo constantes la presión y la temperatura. También se define como la diferencia de entalpía específica de una fase en condiciones de saturación y la entalpía específica de la otra fase en condiciones de saturación, a la misma presión y temperatura.

$$v = v_f + x (v_g - v_f)$$

se tiene que, $v_{fg} = v_g - v_f$

por lo que:

$$v = v_f + xv_{fg}$$

El estado b, queda perfectamente definido al especificar la presión o temperatura de saturación el título. Al asignar un valor numérico a éste último, implícitamente se fija el volumen específico.

El título puede considerarse como una propiedad intensiva y expresada decimalmente y varía entre cero y la unidad.

En el diagrama P-h de la (Fig. I.3.3.3), la línea A C corresponde a los estados del líquido saturado; la línea CB a los de vapor saturado seco y C corresponde al punto crítico.

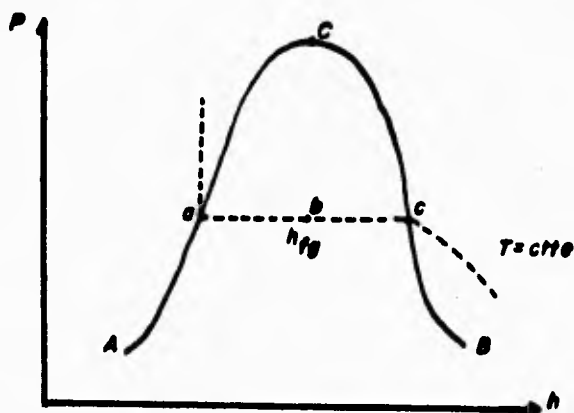


Fig. 2.3.3.3

Calor sensible, es la cantidad de energía calorífica que se debe agregar o extraer a una sustancia para provocarle un cambio de temperatura sin que exista un cambio en la fase, manteniendo la presión constante.

Calor latente, es la cantidad de energía calorífica que se debe agregar o extraer de una sustancia para provocarle un cambio de fase manteniendo constantes la presión y la temperatura. También se define como la diferencia de entalpía específica de una fase en condiciones de saturación y la entalpía específica de la otra fase en condiciones de saturación, a la misma presión y temperatura.

El calor latente de vaporización, que es el que interesa en el proceso que se desarrolla en una Central Termoeléctrica, queda determinado, a una presión y/o temperatura, por:

$$h_{fg} = h_g - h_f$$

en el punto crítico C, $h_{fg} = 0$ y no se puede determinar x

El estado a de la (Fig. I.3.3.3) también queda definido al especificar la presión o temperatura de saturación y la entalpía del líquido saturado h_f ; de manera análoga el estado C queda determinado mediante la especificación de la presión o temperatura de saturación y la entalpía del vapor saturado seco h_g . El estado queda definido de una manera precisa al especificar la presión o temperatura de saturación y el título, puesto que:

$$h = h_f + x h_{fg}$$

De manera semejante se tienen las siguientes expresiones:

$$u = u_f + x u_{fg}$$

para la energía interna específica

$$s = s_f + x s_{fg}$$

para la entropía específica

Como definición, entropía es la propiedad de la materia que mide el grado de desorganización o desorden a nivel microscópico.

En forma natural todos los procesos producen entropía; con esta producción se pierde la capacidad de realizar trabajo, es decir, un sistema de mayor entropía tiene menor capacidad de proporcionar trabajo.

En otras palabras, la entropía es una medida de cuanto trabajo puede proporcionar un sistema o es, cualitativamente, la eficiencia de un vapor o un líquido.

Para Centrales de Generación de Vapor, los diagramas de entalpía entropía (diagramas de Mollier) son muy útiles y muy importantes.

En la (Fig. I.3.3.4) muestran un diagrama P-h y otro h-s y se puede apreciar la notable diferencia de las curvas de saturación y las diversas líneas de propiedades constantes.

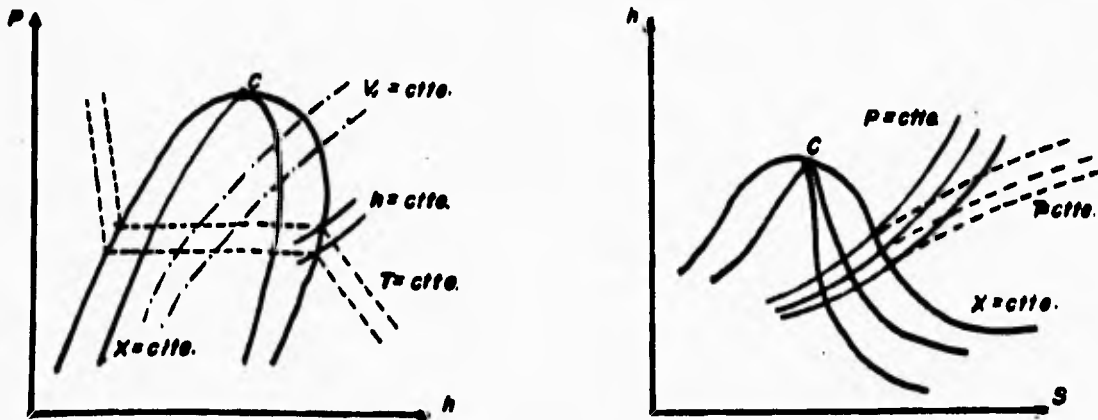


Fig. 1.3.3.4

El estrangulamiento, que es un proceso donde $h_i = h_f$ es el proceso más ineficiente que hay, ya que produce gran cantidad de entropía; mientras que el proceso más eficiente se logra en una turbina isoentrópica ya que la producción de entropía es nula, o sea, la entropía permanece constante (Fig. 1.3.3.5).

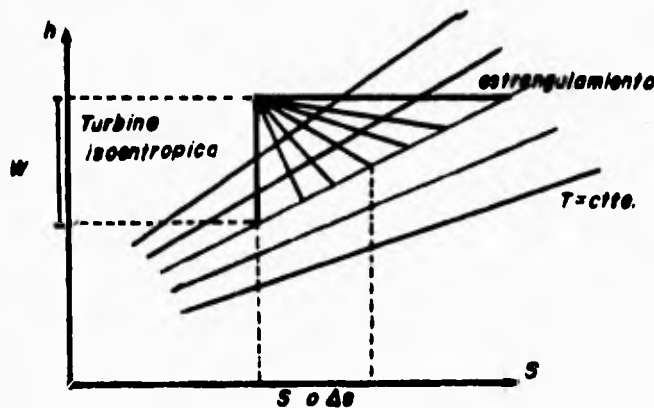


Fig. 1.3.3.5.

La entropía es un proceso real, es una medida de la energía perdida por el sistema en estudio, ya que el vapor pierde eficiencia, por no poder ser totalmente aprovechada en trabajo y también porque recibe gran cantidad de calor (Fig. 1.3.3.6).

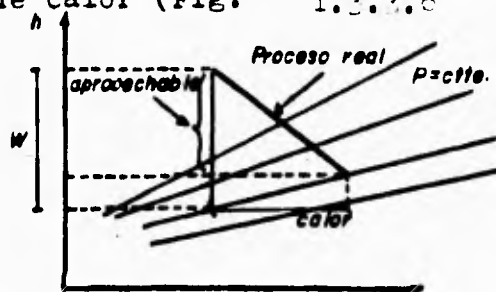


Fig. 1.3.3.6

El trabajo real aprovechable, de acuerdo a la (Fig. I.3.3.6) es la combinación de una turbina 100% eficiente (isoentrópica) y suministro de calor al sistema. I.3.4 GAS IDEAL Y PROCESOS TERMODINAMICOS

Gas ideal, es un vapor cuyas propiedades están alejadas de la línea de vapor saturado. Cuando la temperatura y la entalpía se hacen dependientes, la sustancia se comporta como gas ideal.

Ley de Joule.- En un gas ideal la energía interna es función exclusivamente de la temperatura ($U = f(T)$)

Factor de Compresibilidad, es la relación del volumen de un gas ideal respecto al volumen de un gas real a las mismas condiciones de temperatura y presión.

La ley de los Gases Ideales se expresa,

$$Pv \propto T \longrightarrow Pv = RT$$

Donde P y T = presión y temperatura absolutas

R = constante para cada gas

Para un gas real,

$$Pv \neq RT \longrightarrow Pv = ZRT$$

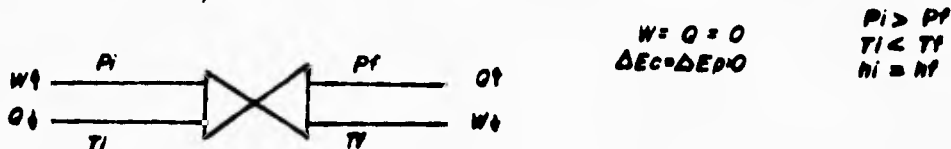
donde, Z = factor de compresibilidad

Z = 1 \longrightarrow gas ideal

Z \neq 1 \longrightarrow gas real

En un proceso de estrangulamiento no se producen cambios en energía potencial y cinética cuando un fluido se expande desde una región de alta presión hasta otra de baja presión sin ser trabajo (Fig.

I.3.4.1).



$W \uparrow \longrightarrow$ mayor capacidad para realizar trabajo

$W \downarrow \longrightarrow$ menor capacidad para realizar trabajo

$Q \uparrow \longrightarrow$ mayor capacidad para producir calor

$Q \downarrow \longrightarrow$ menor capacidad para producir calor

Mediante una válvula se puede estrangular un fluido, pues al adquirir éste una velocidad alta, se disipa en turbulencia. En consecuencia los cambios en velocidad son pequeños, o pueden reducirse a cero mediante la selección apropiada del diámetro en los tubos. El trabajo desarrollado en una válvula es cero y el calor usualmente es despreciable.

El estrangulamiento, como un proceso real, no implica que la entalpía del fluido se mantenga constante en todo proceso; meramente indica que la entalpía inicial y la final son iguales por lo cual no es posible establecer que el proceso sea isoentálpico y se denomina expansión de Joule-Thomson. Una expansión de este tipo es una forma de fricción puesto que desaprovecha la capacidad del sistema para realizar trabajo.

El coeficiente de Joule-Thomson se define,

$$\mu = \left. \frac{\partial T}{\partial P} \right|_h$$

Esta propiedad termodinámica da una indicación del cambio de temperatura que experimenta una sustancia, al expandirse isoentálpicamente entre dos límites de presión dados. A partir de las líneas de entalpía constante que aparecen en el diagrama T-P de la (Fig. I.3.4.2) se observa que el coeficiente Joule-Thomson puede ser positivo, negativo o cero. La línea que pasa por todos los puntos en que el coeficiente de Joule-Thomson es igual a cero se denomina línea de inversión. El coeficiente μ es negativo en la región que se encuentra a la derecha de la línea de inversión y positivo en la región localizada a la izquierda de ésta.

Cualquier fluido que sufra una expansión a entalpía constante entre presiones localizadas a la izquierda de la línea de inversión, disminuye su temperatura. De manera análoga, el fluido aumenta su temperatura si la expansión se realiza entre presiones localizadas a la derecha de la línea de inversión. Si durante la expansión el fluido cruza la línea de inversión, primero aumenta su temperatura y luego disminuye progresivamente. Sin embargo, existe una temperatura, la temperatura de inversión máxima, arriba de la cual no es posible enfriar

un fluido con una expansión a entalpía constante.

El coeficiente de expansión volumétrica, β , es una indicación del cambio en volumen (o densidad) que sufre una sustancia, como consecuencia de un cambio en temperatura mientras la presión se mantiene constante. Por definición,

$$\beta = \frac{1}{v} \left. \frac{\partial v}{\partial T} \right|_P = - \frac{1}{\rho} \left. \frac{\partial \rho}{\partial T} \right|_P$$

donde: ρ = densidad del fluido

De manera análoga, el coeficiente de compresibilidad isotérmica, es una indicación del cambio de volumen (o densidad) que sufre una sustancia, como consecuencia de un cambio de presión mientras la temperatura se mantiene constante. Por definición,

$$\kappa_T = \frac{1}{v} \left. \frac{\partial v}{\partial P} \right|_T = \frac{1}{\rho} \left. \frac{\partial \rho}{\partial P} \right|_T$$

Estos coeficientes generalmente dependen de la presión y la temperatura

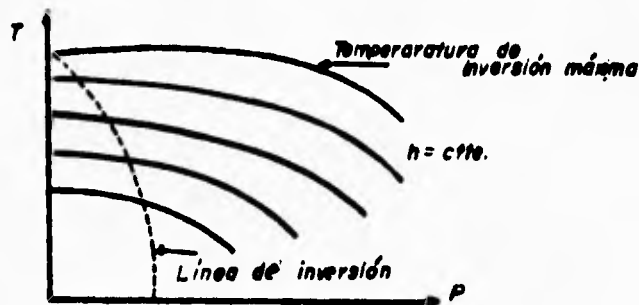


Fig. 2.3.4.2

Dos propiedades termodinámicas de gran importancia están relacionadas con la entalpía y la energía interna de una sustancia, de calor específico a presión constante,

$$c_p = \left. \frac{\partial h}{\partial T} \right|_P$$

y el calor específico a volumen constante

$$c_v = \left. \frac{\partial u}{\partial T} \right|_v$$

Cada uno de los calores específicos denota la razón de cambio de una propiedad con respecto a la temperatura, mientras otra se mantiene constante. Así mismo, la definición del calor específico a presión constante implica

que la entalpía de una sustancia pura es función de la temperatura de presión; en consecuencia, el calor específico a presión constante depende en general de la temperatura y de la presión. De manera análoga, de la definición el calor específico a volumen constante depende en general de la temperatura y del volumen específico. Sin embargo, a presiones relativamente bajas de los gases, los calores específicos dependen solo de la temperatura.

Como consecuencia de la Ley de Joule, respecto a los calores específicos tenemos.

$$h = \mu + RT \quad \text{y} \quad \mu = f(T) \longrightarrow h = f(T)$$

para un gas ideal.

Además, para ΔT pequeños

$$C_p = \text{cte.} \quad \text{y} \quad C_v = \text{cte.}$$

Por otro lado,

$$C_p = \frac{dh}{dT} \quad (\text{evaluado a una } T \text{ a } P = \text{cte.})$$

y

$$C_v = \frac{d\mu}{dT} \quad (\text{evaluado en una trayectoria de } v = \text{cte.})$$

Se observa que ambos calores específicos ya no se definen como derivadas parciales para un gas ideal, ya que la única variable dentro de sus definiciones es la temperatura.

También tenemos:

$$\Delta h = C_p \Delta T \longrightarrow h_2 - h_1 = C_p (T_2 - T_1) \quad \text{para } \Delta T \text{ pequeño}$$

$$\Delta \mu = C_v \Delta T \longrightarrow \mu_2 - \mu_1 = C_v (T_2 - T_1) \quad \text{para } \Delta T \text{ pequeños}$$

Por último, $dh = d\mu + dPv = d\mu + dRT$

$$\frac{dh}{dT} = \frac{d\mu}{dT} + R \longrightarrow C_p = C_v + R \longrightarrow R = C_p - C_v$$

concluyéndose que,

$$R = 0 \longrightarrow \text{líquidos y sólidos } (C_p = C_v)$$

$$R > 0 \longrightarrow \text{gases } (C_p > C_v)$$

Los principales procesos termodinámicos son los siguientes:

-Proceso politrópico, es cualquier proceso cuya relación funcional entre la presión y el volumen sea la forma:

$$P_2 / P_1 = (v_1^n / v_2^n)$$

donde, n = exponente politrópico

Otras formas de expresar este proceso son:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^n \quad \text{y} \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{n-1}$$

-Proceso isobárico, es un caso particular de proceso politrópico; en este caso el exponente politrópico es igual a 0 (P= ctte.)

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{v_2}{v_1} \quad \text{Ley de Gay-Lussac}$$

-Proceso isotérmico, en el exponente politrópico es igual a la unidad (T= ctte.)

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{v_2}{v_1} \quad \text{Ley de Mariotte-Boyle}$$

- Proceso adiabático, sin fricción y para un gas ideal con calores específicos constantes. El exponente politrópico en este caso es igual al cociente de calores específicos $k = C_p / C_v$ ($Q = 0$)

$$Pv^k = \text{ctte} \longrightarrow P_1 v_1^k = P_2 v_2^k = \dots$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^k \quad \text{ó} \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1}$$

- Proceso isométrico o isocórico; en un proceso a volumen constante el exponente politrópico es infinito.

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{P_2}{P_1} \quad \text{Ley de Charles}$$

Dado que la ecuación de un proceso politrópico es sólo una relación funcional entre propiedades termodinámicas, ésta es válida para procesos que se desarrollan con fricción o sin ella (si es que es posible asignar valores a las propiedades en cada estado de un proceso que se desarrolla con fricción). Si en un proceso de expansión dado el sistema recibe calor; y el proceso no es ni adiabático ni isotérmico. La temperatura del gas disminuye durante la expansión como consecuencia de ser mayor el trabajo desarrollado por el gas que el calor suministrado a éste. Los procesos politrópicos tienen gran aplicación en el análisis de motores de combustión interna, compresores y en general en todos los equipos principales de una Central Termoeléctrica. La fig(I.3.4.3) muestra la gráfica de los procesos anteriores.

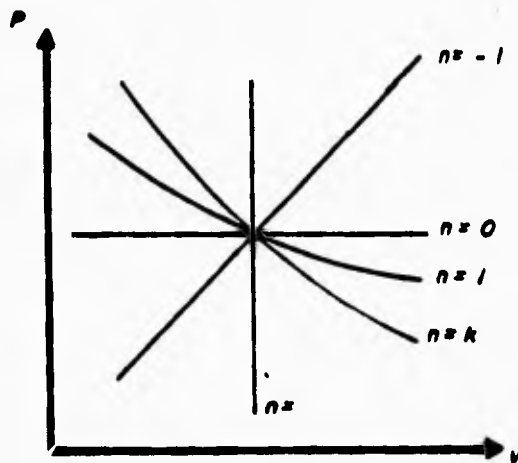


Fig. I. 3.4.3

I.3.5 SEGUNDA LEY DE TERMODINAMICA

La primera Ley establece la conservación de la energía en todos los procesos, sin embargo, la intuición indica que unas formas de energía son más valiosas que otras.

Por otro lado, la Primera Ley es también incapaz de predecir la dirección o extensión de un proceso dado. Es precisamente la Segunda Ley la que puede resolver estas incógnitas.

La Segunda Ley de Termodinámica es un axioma que indica que todo proceso es "degenerativo", esto es, que si el resultado del proceso es una degradación de la energía, en cuanto a capacidad de hacer trabajo, el proceso ocurrirá.

Así por ejemplo, el trabajo puede convertirse fácilmente en calor pero la experiencia indica que éste último no puede convertirse total y continuamente en trabajo. Es decir, el trabajo es una forma de energía más valiosa que el calor.

La Segunda Ley de la Termodinámica proporciona el punto de vista cualitativo de la realización de los procesos y puede establecerse en diferentes formas, aunque todas son equivalentes en sus consecuencias, - las mas conocidas son las siguientes:

-Axioma de Clausius. Es imposible que el calor pase, por sí solo, desde una región de menor temperatura hasta otra de mayor temperatura.

De éste axioma se deduce que el calor siempre fluye de mayor a menor temperatura. Igualmente, este axioma implica que la energía se degrada paulatinamente al realizarse un proceso de transferencia del calor puesto que su capacidad de hacer trabajo disminuye. Al mismo tiempo, el axioma indica, la dirección del proceso, esto es, de mayor a menor temperatura.

-Axioma de Kelvin - Plank. Es imposible para cualquier dispositivo operar cíclicamente, producir trabajo, e intercambiar calor solamente con una región de temperatura constante.

En consecuencia, toda máquina que opere cíclicamente y que produzca trabajo, no sólo debe tomar calor de una región de alta temperatura, sino que también debe disipar una fracción de ésta hacia una región de menor temperatura. Dado este axioma, se descarta la existencia de máquinas que, en forma permanente, puedan convertir la totalidad del calor proveniente de cualquier fuente de energía, en trabajo.

El axioma Kelvin-Plank pone también de relieve el hecho de que la energía se degrada en todos los procesos. Si se considera una planta de generación de vapor, se observa que sólo una fracción de la energía liberada por el combustible se aprovecha en trabajo.

Tanto el axioma de Clausius como el de Kelvin-Plank son dos de las formas diferentes en que la Segunda Ley puede expresarse siendo completamente equivalentes en sus consecuencias, y si se viola uno de ellos, implícitamente se viola también el otro.

La segunda Ley sirve para determinar la direccionalidad y factibilidad de los procesos.

Consecuencias de la Segunda Ley.

De la Segunda Ley se desprende que el trabajo puede substituirse por el calor, pero no a la inversa.

Lo anterior indica que la perfección de un proceso estriba en que, para realizar un objetivo dado, el trabajo no debe emplearse para lograr tal objetivo, si es que éste puede lograrse total o parcialmente mediante el empleo de calor, por ejemplo, no sería adecuado incrementar la temperatura del aire contenido en un recipiente mediante los efectos de fricción y turbulencia de un agitador impulsado, por un motor eléctrico pues la sola adición de calor podría lograr tal objetivo.

En consecuencia, el proceso perfecto, el proceso reversible, es aquél que en un instante dado puede detenerse e invertir la secuencia de estados recorridos, para hacer retornar, tanto el sistema como sus alrededores, a sus estados originales. En otras palabras, un proceso es reversible si no deja historia al ser invertido.

Por ejemplo, si se considera el calentamiento del aire mediante un agitador, se observa que el proceso es irreversible, pues si los efectos de fricción y turbulencia se detienen, el enfriamiento del aire (sistema) a su estado original no es motivo para que se recupere la energía que suministró previamente el motor eléctrico (alrededores). Aún cuando el sistema regresó a su estado original la historia del proceso revela algo importante: existió una transferencia de calor a cambio de una forma de energía más valiosa, el trabajo.

Todo proceso que involucre transferencia de calor a través de una diferencia finita de temperatura es irreversible. De lo anterior se desprende que, debido a la formación de sarro o suciedad en los tubos de un intercambiador de calor, el proceso de transferencia de calor es cada vez más irreversible a medida que el tiempo transcurre.

Si en determinado proceso existe transferencia de calor entre el sistema y sus alrededores debido a una diferencia finita de tempera-

tura el sistema en este proceso irreversible es incapaz de reconocer la diferencia que existiría, si la misma transferencia de calor fuera realizada con una diferencia infinitesimal. En este caso se dice que el proceso es internamente reversible, pero externamente irreversible.

Por otra parte, si además existe fricción dentro del sistema en cuestión, el proceso es tanto interno como externamente irreversible. En consecuencia, para que el proceso en un sistema dado sea irreversible, sólo se requiere que éste sea internamente reversible, más aún un sistema externamente reversible implicará, reversibilidad interna y externa en todos los procesos.

Fricción.

Si se comparan dos procesos que pasan a través de los mismos estados en equilibrio, pero uno es reversible y el otro irreversible, el primero realizará la máxima cantidad de trabajo posible.

Considerando la expansión adiabática de un gas en una turbina. Si el proceso es reversible, esto es, se realiza sin fricción, la potencia desarrollada por la turbina es máxima, por otro lado, si el proceso es irreversible, la fricción tiende a aumentar la temperatura del gas a la descarga de la turbina y por ende su entalpía. Entonces, la potencia desarrollada por la unidad se verá disminuída.

Ahora considerando la expansión adiabática de un gas dentro de un cilindro. Si el proceso es reversible, es decir, se desarrolla sin fricciones, el trabajo total hecho por el sistema (gas) sobre sus alrededores está dado por,

$$W_{rev} = PdV$$

Si el proceso se realiza a través de los mismos estados de equilibrio mediante una expansión libre (proceso reversible) el trabajo total hecho por el sistema sobre sus alrededores es idénticamente igual a 0. En consecuencia para procesos reversibles, el trabajo total hecho por un sistema cerrado es numéricamente igual al área que se halla bajo la curva descrita por el proceso en coordenadas P-v.

De manera análoga, para un sistema abierto opera en estado estable, con una entrada y una salida de flujo.

Por lo tanto, la fricción en un sistema puede evaluarse cuantitativamente en un proceso irreversible si esto pasa a través de los

mismos estados que atraviesa otro proceso reversible.

Analizando un Sistema Cerrado:

$$\begin{aligned} dQ_{rev} - dW_{rev} &= dU_{1-2} \\ dQ - dW &= U_{1-2} \end{aligned}$$

quedando

$$\begin{aligned} d\Phi &= dW_{rev} - dW \\ d\Phi &= dQ_{rev} - dQ \end{aligned}$$

Es decir, la fricción puede calcularse como la diferencia en trabajo o la diferencia en calor, entre el proceso reversible y el proceso real o irreversible, si ambos recorren los mismos estados de equilibrio.

Entonces para un sistema dado,

$$\begin{aligned} d\Phi &= PV - dW \\ d\Phi &= PV - dQ + dV \end{aligned}$$

y por unidad de masa

$$d\Phi = PdV - dq + d\mu \quad (a)$$

De igual forma, para un sistema abierto que opera en estado estable con una entrada y una salida de flujo.

$$d\Phi = v dP - \bar{v} d\bar{v} - g dz - dW$$

$$d\Phi = v dP - dq + dh$$

$$d\Phi = PdV - dq + d\mu \quad (b)$$

Aún cuando las ecuaciones (a) y (b) son idénticas, las variables independientes son diferentes, además para un sistema cerrado la ecuación (a) se evalúa para condiciones de entrada y salida.

Otras conclusiones importantes sobre la fricción son:

Si $\Phi > 0 \longrightarrow W_{rev} > W \longrightarrow$ Proceso irreversible

Si $\Phi = 0 \longrightarrow W_{rev} = W \longrightarrow$ Proceso reversible

Si $\Phi < 0 \longrightarrow W_{rev} < W \longrightarrow$ Proceso imposible

Enseguida se enlistan procesos reversibles y su correspondiente proceso irreversible.

Procesos Reversibles

1. Proceso sin fricción (compresión o expansión)
2. Transferencia de calor a través de una región infinitesimal de temperatura.

Procesos Irreversibles.

1. Proceso con fricción
2. Transferencia de calor a través de una diferencia de temperatura finita.

Procesos Reversibles

3. Deformación elástica
4. Transporte de corriente eléctrica por superconductores.
5. Reacciones químicas controladas

Procesos Irreversibles

3. Deformación plástica
4. Transporte de corriente eléctrica por conductores normales.
5. Reacciones químicas espontáneas.

Principio del Ciclo de Carnot.

El principio de Carnot, es consecuencia de la segunda Ley de la Termodinámica, y puede enunciarse de la siguiente manera :

a) Es posible construir una máquina que opere entre dos regiones de temperatura distinta y que sea más eficiente que una máquina externamente reversible, que opere entre las mismas regiones de temperatura.

b) Todas las máquinas térmicas externamente reversibles tienen la misma eficiencia, si operan entre las mismas regiones de temperatura.

El principio de Carnot, básicamente establece el límite de perfección para las máquinas térmicas, enunciando que " La eficiencia térmica de cualquier máquina que opera entre dos límites fijos de temperatura, es inferior, o a lo sumo igual, a la otra externamente reversible ". Al mismo tiempo, la Segunda Ley establece que la eficiencia térmica de todas las máquinas es inferior al 100%.

Considerando una máquina externamente reversible que ejecuta lo que se conoce como Ciclo de Carnot, el cual está constituido por -- cuatro procesos; dos procesos adiabáticos reversibles y dos procesos isotérmicos reversibles en donde la substancia medio de trabajo en la máquina es un gas ideal (Fig. I.3.5.1).

La descripción del Ciclo de Carnot de acuerdo a la figura I.3.5.1 es como sigue :

Proceso Isotérmico (1-2) es la región que se halla a temperatura $T_a + dT_a$ y suministra calor reversiblemente a la máquina, cuyo medio de trabajo se va a localizar o se entornará dentro del diagrama

encuentra a una temperatura T_a . Para mantener ésta diferencia infinitesimal de temperaturas (dT_a) durante el suministro de calor, el fluido de trabajo se expande isotérmicamente en la máquina desde el estado 1 al estado 2.

Proceso Adiabático (2-3). El fluido se expande adiabáticamente de una manera reversible desde el estado 2 que se encuentra a una temperatura T_a hasta el estado 3 que está a una temperatura T_b . Durante esta expansión el sistema realiza el trabajo.

Proceso Isotérmico (3-4). La máquina térmica disipa calor, hacia la región de baja temperatura que se encuentra a T_b con el objeto de mantener la temperatura constante durante la compresión reversible.

Proceso Adiabático (4-1). El medio de trabajo, se comprime adiabáticamente y de una manera reversible desde el estado 4 hasta el estado 1.

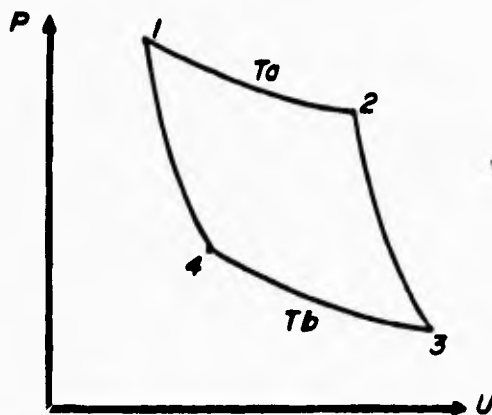


Fig. 2.3.3.1

Para determinar la eficiencia térmica de la máquina de Carnot, y --

$$\eta = \frac{\int \delta w}{q_{ent}} = 1 - \frac{|q_{2-3}|}{q_{1-2}}$$

y mediante substituciones y un desarrollo algebraico adecuado nos da:

$$\eta = 1 - \frac{T_b}{T_a}$$

La eficiencia térmica de una máquina de Carnot (y de todas las máquinas externamente reversibles) es independiente de las propiedades del fluido o medio de trabajo y después única y exclusivamente de las ---

temperaturas absolutas.

La eficiencia térmica superior o igual al 100% queda prohibida por la Primera y Segunda leyes de la Termodinámica.

La expresión que define la eficiencia térmica de la máquina de Carnot indica la conveniencia de realizar el suministro de calor en un ciclo a la mayor temperatura posible y hacer la disipación de calor a la temperatura más baja.

Dado que el ciclo de Carnot es reversible, la máquina de Carnot puede invertirse y operar como refrigerador.

Principio de Incremento de Entropía.

La Segunda Ley de la Termodinámica postula la existencia de la propiedad termodinámica extensiva denominada entropía.

Para definir más formalmente a la entropía es conveniente establecer lo que se conoce como desigualdad de Clausius, para lo cual se considera una máquina externamente reversible que opera entre límites de temperatura T_a y T_b (Fig. I.3.5.2).

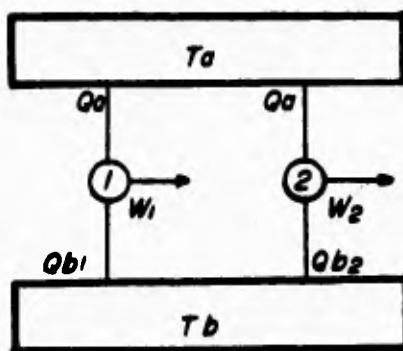


FIG. I.3.5.2

En la máquina externamente reversible (1) se observa que:

$$\oint \frac{dQ}{T} \Big|_{rev} = \frac{Q_{a1}}{T_a} - \frac{Q_{b1}}{T_b} = 0 \quad (1)$$

De manera análoga, considerando ahora una máquina térmica cualquiera (2) que opera entre los mismos límites de temperatura, de acuerdo al principio de Carnot:

$$W_1 > W_2$$

entonces,

$$Q_{b1} < Q_{b2}$$

y

$$\frac{Q_{b1}}{T_b} < \frac{Q_{b2}}{T_b}$$

por lo tanto para la máquina (2),

$$\oint \frac{dQ}{T} = \frac{Q_{a2}}{T_a} - \frac{Q_{b2}}{T_b} < 0 \quad (2)$$

De las ecuaciones (1) y (2),

$$\oint \frac{dQ}{T} \leq 0$$

Puesto que cualquier ciclo reversible puede substituirse por una serie de Ciclos de Carnot, la desigualdad de Clausius es válida para cualquier máquina térmica reversible o irreversible, en donde la igualdad se conserva en ciclos reversibles y la desigualdad en ciclos irreversibles. A medida que aumenta la irreversibilidad en una máquina dada, la integral cíclica de dQ/T se hace cada vez más negativa.

Considerando un ciclo reversible formado por los procesos A y B como aparece en la (Fig. I.3.5.3).

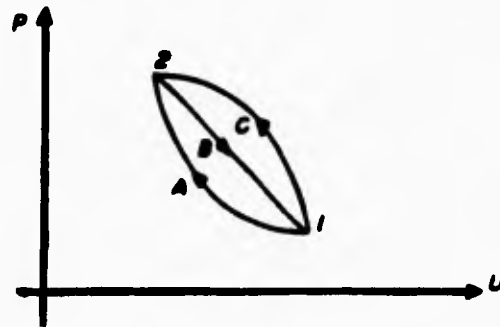


FIG. I.3.5.3

De acuerdo con la desigualdad de Clausius,

$$\int \frac{dQ}{T} \Big|_{rev} = \int_{1-2} \frac{dQ}{T} \Big|_{rev} + \int_{2-1} \frac{dQ}{T} \Big|_{rev} = 0$$

De igual forma, para el ciclo reversible constituido por los procesos A y C,

$$\int \frac{dQ}{T} \Big|_{rev} = \int_{1-2} \frac{dQ}{T} \Big|_{rev} + \int_{2-1} \frac{dQ}{T} \Big|_{rev} = 0$$

comparando ambas ecuaciones:

$$\int_{2-1} \frac{dQ}{T} \Big|_{rev} = \int_{2-1} \frac{dQ}{T} \Big|_{rev}$$

La integral de dQ/T rev. adquiere el mismo valor a lo largo de cualquier trayectoria reversible entre el estado 2 y el estado 1. En consecuencia esta cantidad depende única y exclusivamente de los estados inicial y final, y es por ello una propiedad termodinámica cuya denominación es entropía, es decir,

$$\int \frac{dQ}{T} \Big|_{rev}$$

Esto implica que el cambio de entropía entre dos estados termodinámicos cualquiera puede evaluarse mediante la expresión:

$$\Delta S = \int \frac{dQ}{T} \Big|_{rev}$$

o por unidad de masa,

$$\Delta s = \int \frac{dQ}{T} \Big|_{rev}$$

La ecuación anterior es válida para cualquier sistema cerrado o de masa constante y expresa que la integración debe realizarse a lo largo de una trayectoria reversible, si es que se desea evaluar la diferencia de entropía entre dos estados, y supone además un conocimiento de la relación dQ/T a lo largo del proceso reversible. Sin embargo, dado que la entropía es una propiedad termodinámica, la diferencia Δs entre dos estados es la misma, independientemente si el proceso es reversible o irreversible.

Considerando nuevamente el ciclo reversible constituido por los procesos A y B de la (Fig.).

$$\oint \frac{dQ}{T} \Big|_{rev} = \int_{1-A}^2 \frac{dQ}{T} \Big|_{rev} + \int_{2-A}^1 \frac{dQ}{T} \Big|_{rev} = 0 \quad \dots(A)$$

Por otro lado, considerando a continuación un ciclo termodinámico formado por el proceso reversible A y el proceso irreversible C de la misma figura y usando la desigualdad de Clausius,

$$\oint \frac{dQ}{T} = \int_{1-A}^2 \frac{dQ}{T} \Big|_{rev} + \int_{2-C}^1 \frac{dQ}{T} < 0 \quad \dots(B)$$

restando la ecuación (B) de la ecuación (A),

$$\int_{2-B}^1 \frac{dQ}{T} \Big|_{rev} - \int_{2-C}^1 \frac{dQ}{T} > 0$$

$$\int_{2-B}^1 \frac{dQ}{T} \Big|_{rev} = \int_{2-B}^1 ds = \int_{2-C}^1 ds > \int_{2-C}^1 \frac{dQ}{T}$$

y en general para cualquier proceso,

$$\Delta s \geq \int \frac{dQ}{T}$$

Puede agregarse que todo proceso adiabático reversible es isentrópico ya que:

$$ds = \frac{dQ}{T} \Big|_{rev} = 0$$

si $dQ=0$, para cualquier trayectoria; por lo cual implica entropía constante.

Por lo tanto, todo proceso isentrópico es adiabático, pero no todo proceso adiabático es isentrópico, sólo los procesos adiabáticos reversibles son isentrópicos, puesto que los procesos adiabáticos irreversibles producen entropía. en realidad todos los procesos realizables son irreversibles y por lo tanto producen entropía, aunque se pueden idealizar -

algunos procesos como reversibles para fines prácticos sin cometer errores apreciables.

Un sistema aislado, esto es, un sistema cerrado en el que no hay transferencia de energía con los alrededores, únicamente puede adquirir aquellos estados en que la energía total del sistema permanece constante de acuerdo con la Primera Ley de la Termodinámica. Por otro lado, la Segunda Ley de la Termodinámica establece que el sistema aislado puede adquirir sólo aquellos estados en que la entropía de éste se incrementa o permanezca constante, es decir:

$$\Delta S_{\text{sistema aislado}} \geq 0$$

donde la igualdad se conserva en los procesos reversibles y la desigualdad en los procesos irreversibles; la ecuación anterior se conoce como Principio de Incremento de Entropía y es una forma cuantitativa de establecer la Segunda Ley de la Termodinámica, que este axioma desde el punto de vista de la entropía establece que:

"La entropía de un sistema aislado aumenta en todos los procesos irreversibles y, en el límite, permanece constante en los procesos reversibles".

A diferencia de la energía, la entropía no se conserva, excepto en los procesos reversibles. En otras palabras, la Primera Ley establece que la energía no se crea ni se destruye, mientras la Segunda Ley establece que la entropía no se destruye pero sí se crea. Esta misma ley establece que un proceso dado en un sistema aislado puede ocurrir hasta que adquiera su máximo valor de entropía manteniendo al mismo tiempo constante su energía interna. Esto es, hasta alcanzar un estado de equilibrio termodinámico. Analíticamente, para un sistema aislado se encuentre en equilibrio termodinámico se debe cumplir:

$$ds|_{u, \text{etc.}} \leq 0$$

Puesto que un sistema aislado siempre puede formarse con cualquier sistema abierto, o cerrado y sus alrededores, el incremento de entropía para un sistema aislado puede expresarse como:

$$\Delta S_{\text{sistema aislado}} = \Delta S_{\text{sistema abierto}} + \Delta S_{\text{alrededores}} \geq 0$$

Finalmente, como el Universo es un sistema aislado, ya que su energía es constante (no se crea ni se destruye, se transforma únicamente) y los procesos reales son irrevocables, la entropía de nuestro Universo continuamente se incrementa.

Ahora, con el fin de generalizar la evaluación del cambio de entropía entre dos estados de un proceso cualquiera, se desarrollan relaciones entre las propiedades de una sustancia pura como la entropía, que es también propiedad de dicha sustancia, combinando la Primera y Segunda leyes de la Termodinámica.

De acuerdo con la definición de entropía.,

$$T ds = dq \Big|_{rev}$$

De la Primera Ley para un proceso reversible en un sistema cerrado,

$$dq \Big|_{rev} = dh + P dv$$

Combinando ambas ecuaciones:

Sumando y restando $v dp$ en el lado derecho, resulta

$$T ds = dh - v dp$$

las dos últimas ecuaciones se conocen como Ecuaciones de Gibbs, o ecuaciones $T ds$, y son fundamentales para combinar la primera y la segunda Ley de la Termodinámica.

Estas expresiones son válidas para cualquier proceso reversible o irreversible de una sustancia pura puesto que una propiedad termodinámica queda determinada por el estado y no por el proceso, pudiéndose aplicar estas expresiones también para un sistema abierto, puesto que las propiedades se evalúan puntuales, es decir, punto a punto en la trayectoria del fluido de trabajo, considerando cada punto con masa unitaria como un sistema cerrado.

Para cualquier proceso en general en un sistema cerrado $dq \neq T ds$ y $dw \neq P dv$ excepto en los procesos reversibles. Análogamente, en un sistema abierto que opera en estado estable, $dq \neq T ds$ y $dw \neq \dots$

$v dp = d(hc) - d(ep)$, excepto en los procesos reversibles.

Finalmente, como el universo es un sistema aislado, ya que su energía es constante (no se crea ni se destruye, se transforma únicamente) y los procesos reales son irreversibles, la entropía de nuestro universo continuamente se incrementa.

Ahora, con el fin de generalizar la evaluación del cambio de entropía entre dos estados de un proceso cualquiera, se desarrollan relaciones entre las propiedades de una sustancia pura como la entropía, que es también propiedad de dicha sustancia, combinando la primera y segunda leyes de la Termodinámica.

De acuerdo con la definición de entropía,

De la primera ley para un proceso reversible en un sistema cerrado,

combinando ambas ecuaciones :

sumando y restando en el lado derecho, resulta,

Las dos últimas ecuaciones se conocen como Ecuaciones de Gibbs, o ecuaciones T s, y son fundamentales para combinar la primera y segunda Ley de la Termodinámica.

Estas expresiones son válidas para cualquier proceso reversible o irreversible de una sustancia pura puesto que una propiedad Termodinámica queda determinada por el estado y no por el proceso, pudiéndose estas expresiones también para un sistema abierto, puesto que las propiedades se evalúan puntuales, es decir, punto a punto en la trayectoria del flujo de trabajo, considerando cada punto con masa unitaria como un sistema cerrado.

Para cualquier proceso en general en un sistema cerrado

Y excepto en los procesos reversibles. Análogamente, en un sistema abierto que opera en estado estable,

excepto en los procesos reversibles.

Si la sustancia pura es un gas ideal

$$Pv = RT$$

$$du = C_v dT$$

$$dh = C_p dT$$

En consecuencia según la ecuación

$$ds = \frac{C_v dT}{T} + \frac{-Pdv}{T}$$

$$y \quad \Delta s \int = \frac{C_v dT}{T} + R \ln \left(\frac{v_2}{v_1} \right)$$

Si el calor específico C_v (T) es constante, o se emplea un valor promedio:

$$\Delta s \int = C_v \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) + R \ln \left(\frac{v_2}{v_1} \right)$$

De igual forma, haciendo uso de la ecuación

$$ds = \frac{C_p dT}{T} - \frac{vdP}{T}$$

$$y \quad \Delta s = \int \frac{C_p dT}{T} - R \ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right)$$

Si el calor específico C_p (T) es constante, o se emplea un valor promedio

$$\Delta s = C \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) - R \ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right)$$

I.3.6 EL DIAGRAMA TEMPERATURA - ENTROPIA

Dado que tanto la temperatura absoluta T como la entropía S son propiedades Termodinámicas, y éstas pueden usarse como coordenadas.(Fig.

I.3.6.1).

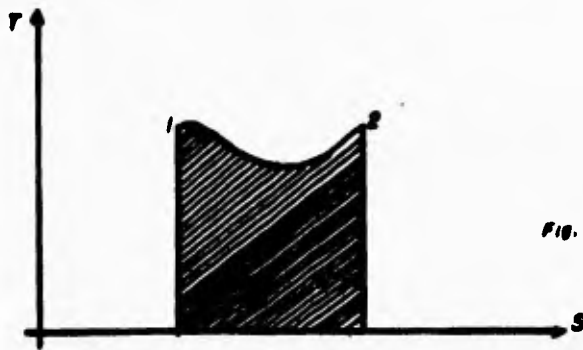


Fig. 3.3.6.1

De acuerdo a la figura, el área que está bajo la curva descrita por un proceso reversible representa físicamente el calor suministrado al sistema, esto es,

$$Q = \int_1^2 T ds \Big|_{\text{rev}}$$

o por unidad de masa,

$$q = \int_1^2 T ds \Big|_{\text{rev}}$$

Por otro lado, si se invierte la trayectoria desde el estado 2 hasta el estado 1, el área que queda bajo la curva (negativa) representa físicamente el calor cedido por el sistema.

Los diagramas temperatura-entropías tienen gran aplicación en el análisis de ciclos termodinámicos. Un ejemplo de ello es el ciclo de Carnot. Este ciclo, como se mencionó anteriormente, consta de dos procesos adiabáticos y dos procesos isotérmicos reversibles (Fig. 1.3.6.2).

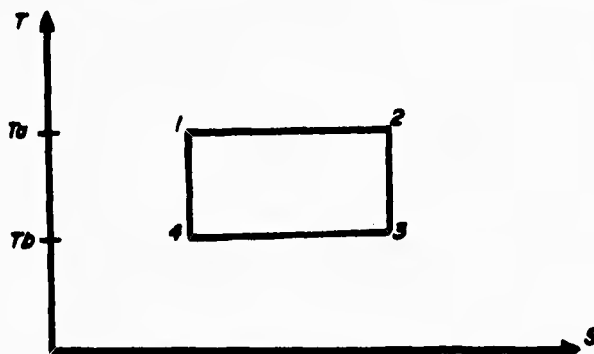


Fig. 3.3.6.2

Obsérvese también que independientemente del fluido o medio de trabajo,

la forma del ciclo de Carnot en un diagrama temperatura-entropía es un rectángulo..

II. INSTRUMENTOS DE MEDICION Y SISTEMAS FINALES DE CONTROL.

INSTRUMENTACION GENERAL

El objetivo de este tema es presentar los diferentes métodos de medición e indicar los principios de operación de los dispositivos más comunmente usados para este propósito. En cualquier central termoeléctrica es importante contar con los datos de presión, nivel temperatura y flujo para efectos de análisis, control, cálculo de los mismos y así poder mantener en óptimas condiciones de operación todos los sistemas y equipos dentro de la central, así como poder vigilar y controlar la operación de éstos.

La presión puede definirse como la acción de una fuerza sobre un área. Tiene la naturaleza de un empuje uniformemente distribuido sobre una superficie, usualmente en un recipiente cerrado. La presión puede deberse a confinamiento, velocidad o columna de fluido.

El instrumento con que se mide la presión es el manómetro. Los tipos de presión que se pueden medir con este instrumento son los siguientes:

Presión absoluta que es la presión del fluido medida con referencia al vacío perfecto.

La presión atmosférica que es la presión que ejerce la atmósfera sobre la superficie de la tierra al nivel del mar. Esta presión es de 1.033 kg/cm^2 o 14.7 lb/pg^2 (1 atm).

La presión manométrica es generalmente la presión que se mide -- arriba de la presión atmosférica. Si la presión medida está por abajo de la atmosférica se le llama vacío.

La presión diferencial es la diferencia entre dos presiones medidas.

La presión estática es la presión equivalente a la fuerza por unidad de área que actúa sobre una pared la cual es provocada por algún fluido en reposo o cuyo flujo es paralelo a la pared del conducto también se denomina presión de línea.

En términos generales puede decirse que los manómetros según su

construcción se clasifican en dos grandes grupos :

1. Los de tubo líquido.
2. Los de elemento metálico.

Los manómetros de tubo líquido son indicadores de presión hidrostática y pueden usar prácticamente cualquier líquido conociendo su peso específico. El agua y el mercurio son los líquidos más comúnmente usados para construir este tipo de instrumentos. Los rangos para este tipo de instrumentos están limitados a bajas o muy bajas presiones, generalmente del orden de milímetros o pulgadas de columna de agua o de mercurio. Los indicadores de presión de columna líquida más comunes son los siguientes:

1. Barómetro de vasija.
2. tubo " U " .
3. Manómetro de pozo
4. De tubo inclinado.

El manómetro de tubo U, consiste en un tubo en U, el cual se llena de líquido generalmente hasta el 50% de la escala a la cual se vaya a referir la medición. Tiene dos aplicaciones, una cuando se pretende medir la presión en su proceso y la otra es para medir presión diferencial (Fig. II. 1).

El barómetro sirve para medir presión atmosférica, y consiste en un tubo de vidrio cerrado en su parte superior en la cual se ha hecho el vacío; al variar la presión atmosférica varia la columna líquida (Fig. II. 2).

El manómetro de pozo relaciona la presión que queremos medir con el desnivel que se produce en una columna líquida (Fig. II. 3).

El manómetro de tubo inclinado es similar al tubo U con la diferencia que uno de los tubos está inclinado (Fig. II. 4).

Los indicadores de presión de la columna de líquido son de los más precisos debido a que no tienen elementos que contribuyan a errores en la medición.

Los manómetros de elemento metálico son de tres tipos básicos:

1. Bourdon
2. Fuelle
3. Diafragma

Este tipo de elementos deben cumplir la ley de Hooke que establece que "la deformación es proporcional al esfuerzo aplicado dentro de los límites elásticos del material". Es importante, por lo tanto, que nunca se someta al instrumento a presiones mayores a las indicadas en la carátula o especificadas por el fabricante.

Los manómetros de tipo Bourdon se construyen en tres tipos diferentes:

- a) Bourdon Forma C
- b) Espiral
- c) Helicoidal

El más común de los tres es el bourdon de forma en C, que se utiliza para casi todos los rangos de presión desde vacío hasta presiones de orden de 1400 kg/cm^2 .

El de elemento en espiral es otra versión del tubo de Bourdon y es de uso común en procesos industriales. Este tipo de manómetro no requiere de engranes para obtener suficiente movimiento del puntero y es de gran precisión.

El manómetro de elemento helicoidal, es similar al tubo de Bourdon clásico, excepto que el Bourdon está construido en forma helicoidal, con 4 o 5 vueltas. Este tipo de instrumentos se utilizan generalmente para presiones medias y bajas.

Los manómetros de fuelle consisten de un fuelle metálico que puede comprimirse o expandirse parcialmente. El tipo de metal usado en la fabricación de estos elementos depende de las características del medio al que vayan a estar sometidos.

Por último, los manómetros de diafragma metálicos se utilizan para medición de presión relativamente bajas. El tipo más sencillo es el que consiste en una lámina circular que puede ser plana o corrugada o soldada en la periferia a un anillo rígido.

Dentro de una central termoeléctrica existen instrumentos transmisores de la presión de los cuales reciben la señal directamente del proceso por medio de un elemento primario que puede ser de fuelle, bourdon o diafragma, el cual está inclinado y combinado con el mecanismo de transmisión para desarrollar la señal de salida proporcional a la medición.

Los transmisores de presión pueden ser neumáticos o electrónicos. Los neumáticos proporcionan señal de salida normalmente de 3 a 15 --- lb/pg² y los electrónicos de 4 a 20 mA.

Los transmisores neumáticos de presión son los instrumentos que tienen la función de adecuar el valor real de presión de un fluido a un rango de presión neumática normalmente de 3 a 15 o 3 a 27 lb/pg² que pueden ser aplicadas a un controlador o llevadas hasta un indicador de presión instalado en el cuarto de control sin riesgo para el operador. (Fig. II. 5).

Las partes principales de que consta un transmisor de presión son los siguientes:

- a) Elemento de medición (diafragma, fuelle o tubo de bourdon)
- b) Mecanismo de transmisión
- c) Relevador booster (amplificador neumático)

Los transmisores de presión electrónicos tienen algunas ventajas sobre los neumáticos. Una de ellas es que su señal de salida puede transmitirse fácilmente a cualquier distancia y otra es su rápida respuesta a las variaciones de la presión medida. Utilizan diferentes principios para transformar las variaciones de presión en señal de corriente de 4 a 20 m A.

El principio más utilizado para la detección de presión por medios electrónicos es el que utiliza las variaciones de presión para hacer variar la capacitancia de un condensador (Fig. II. 6).

Otro punto importante es el nivel el cual podemos definir como la altura que alcanza un líquido dentro del recipiente que lo contiene; o más generalmente, como el porcentaje de la cantidad total almacenada -

Dentro de una central termoeléctrica, la medición y el control de nivel se hacen necesarios cuando se pretende tener una producción continua o cuando un proceso requiere de un volumen constante para funcionar satisfactoriamente y como caso más simple para evitar que un líquido se derrame.

Existen dos métodos básicos para medir el nivel, el método directo y el método indirecto.

El método directo es aquel que se efectúa comprando el nivel con cualquier plano de referencia.

Los transmisores neumáticos de presión son los instrumentos que - tienen la función de adecuar el valor real de presión de un fluido a un rango de presión neumática normalmente de 3 a 15 o 3 a 27 lb/pg² que pueden ser aplicadas a un controlador o llevadas hasta un indicador de presión instalado en el cuarto de control sin riesgo para el operador. (Fig. II. 5).

Las partes principales de que consta un transmisor de presión son los siguientes:

- a) Elemento de medición (diafragma, fuelle o tubo de bourdon)
- b) Mecanismo de transmisión
- c) Relevador booster (amplificador neumático)

Los transmisores de presión electrónicos tienen algunas ventajas sobre los neumáticos. Una de ellas es que su señal de salida puede transmitirse fácilmente a cualquier distancia y otra es su rápida respuesta a las variaciones de la presión medida. Utilizan diferentes principios para transformar las variaciones de presión en señal de corriente de 4 a 20 m A.

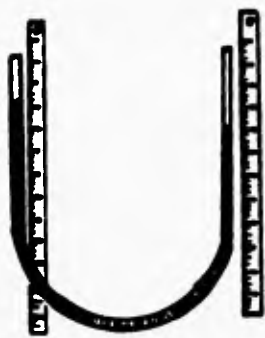
El principio más utilizado para la detección de presión por medios electrónicos es el que utiliza las variaciones de presión para hacer - variar la capacitancia de un condensador (Fig. II. 6).

Otro punto importante es el nivel el cual podemos definir como - la altura que alcanza un líquido dentro del recipiente que lo contiene; o más generalmente, como el por ciento de la cantidad total almacenada -

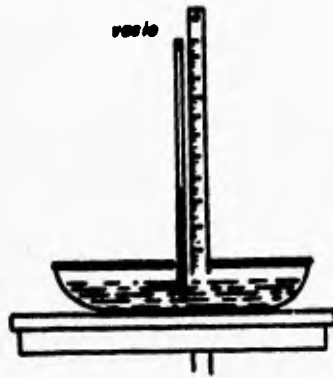
Dentro de una central termoeléctrica, la medición y el control de nivel se hacen necesarios cuando se pretende tener una producción continua o cuando un proceso requiere de un volumen constante para funcionar. satisfactoriamente y como caso más simple para evitar que un líquido se derrame.

Existen dos métodos básicos para medir el nivel, el método directo y el método indirecto.

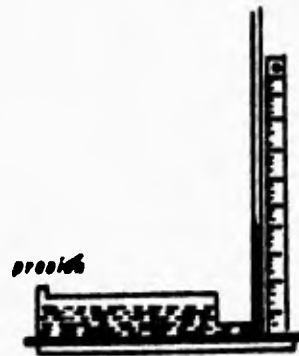
El método directo es aquel que se efectúa comparando el nivel con cualquier plano de referencia.



Manómetro tubo en U
Fig. 11. 1



Barómetro
Fig. 12. 2



Columna de agua
Fig. 13. 3

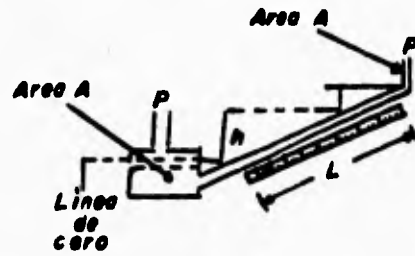


Fig. 14. 4. Manómetro de tubo inclinado.

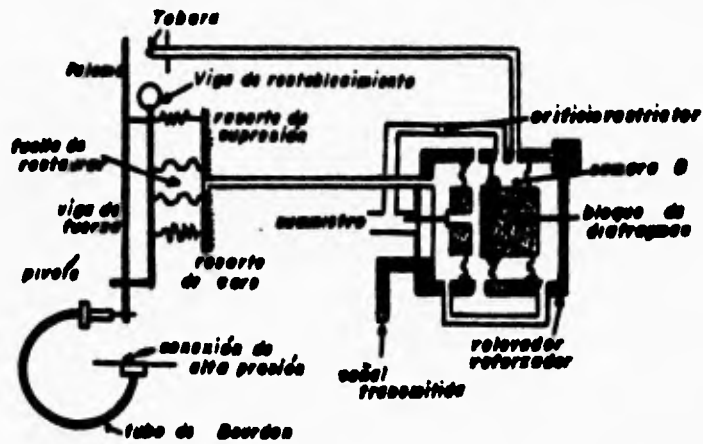


Fig. 22. 6 Transmisor neumático de presión

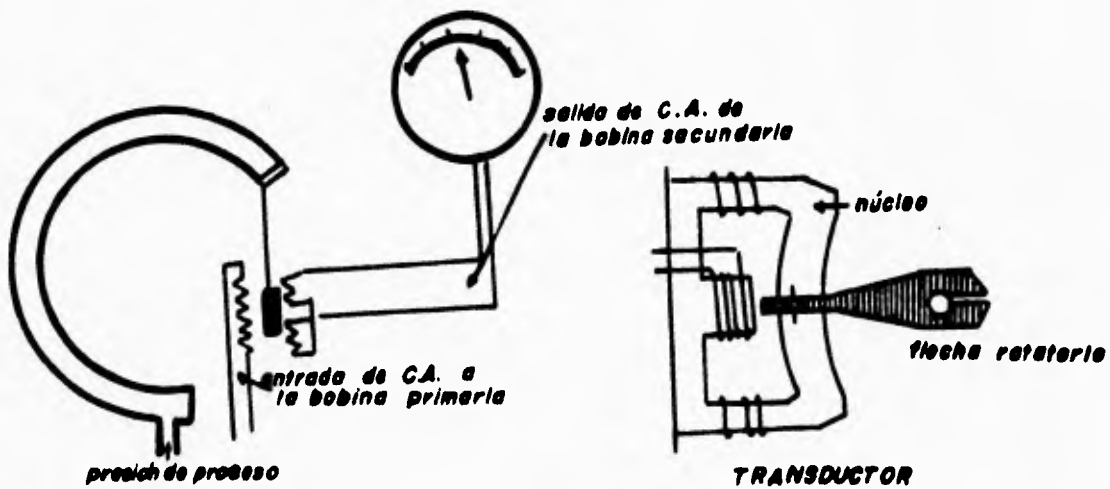


Fig. 23. 6 Transmisor electrónico de presión

El método indirecto toma en cuenta cualquier propiedad del líquido en cuestión . Estas propiedades pueden ser peso específico, densidad, capacidad, eléctrica, conductividad, etc.

Existe una gran variedad de instrumentos para la medición del nivel por cualquiera de los dos métodos. Desde los más sencillos que pueden consistir en una simple regleta graduada, hasta los más complejos y sofisticados del tipo de radiación de energía.

Los medidores de nivel por método directo son los más simples, generalmente constan de un dispositivo a arreglo sencillo que nos permite apreciar el nivel en forma visual. Los más usados dentro de una Central Termoeléctrica son los siguientes:

- a) Linímetro
- b) Mirilla de nivel
- c) Flotador

El linímetro o regleta de nivel es una barra o regleta graduada calibrado en unidades apropiadas para la correcta lectura del nivel. Un ejemplo típico de este instrumento es la bayoneta para verificar el nivel del aceite del motor de un automóvil (Fig. II. 7).

Las mirillas de nivel se utilizan para observar el nivel de los recipientes en la mayoría de los procesos dentro de una Central Termoeléctrica, y están basadas en el principio de los vasos comunicantes. Se emplean para indicación de nivel en baja, media y alta presión (Figs. II. 8 y II. 9).

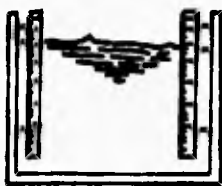


Fig.II. 7 Regleta de nivel

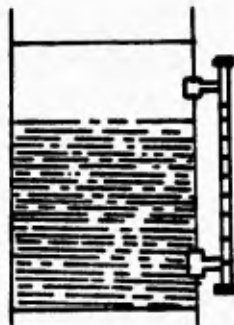


Fig.II. 8 Indicador de nivel

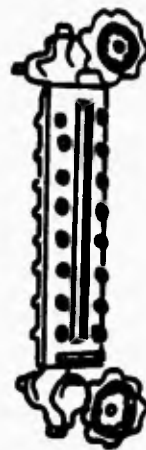


Fig.II. 9 Mirilla de nivel de cámara

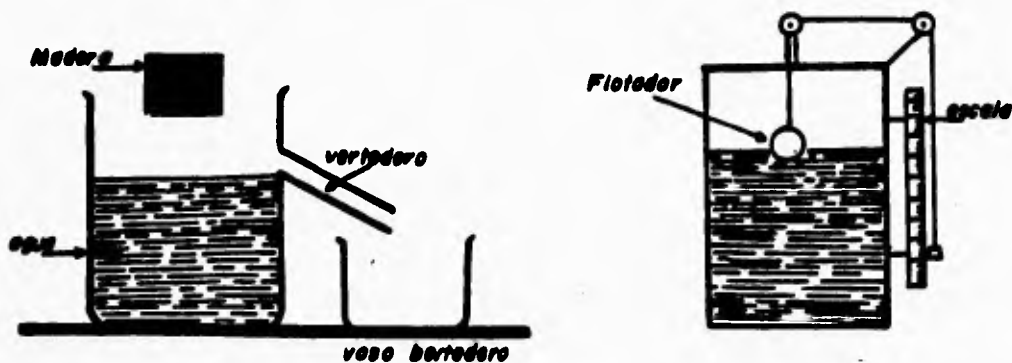


Fig. 10 Indicador de nivel con flotador y cinta

Los medidores de nivel de tipo flotador se basan en el principio de Arquímedes, que establece que "todo cuerpo sumergido en el seno de un líquido recibe un empuje ascendente igual al peso del líquido que desaloja".

Este tipo de medidor consta de un flotador unido a una cinta, la cual se desplaza sobre una guía y un juego de poleas, siguiendo los movimientos del flotador. La cinta está unida por el otro extremo con un indicador que sirve de contrapeso y que se desplaza a lo largo de una escala graduada, instalada en la parte posterior del tanque o recipiente (Fig. II. 10).

Para determinar el nivel por medio del método indirecto se aprovecha alguna propiedad del líquido que cambie proporcionalmente con las variaciones del nivel que se pretende medir. Los más comunes de estos medidores son:

- a) De columna hidrostática
- b) De desplazador
- c) Eléctricos y electrónicos.

Los medidores de columna hidrostática operan bajo el principio de medir la carga hidrostática de un líquido la cual se puede definir como el peso de éste sobre un plano de referencia (Fig. II. 11).

Se expresa en unidades de presión o de columna.

$$H = \frac{P}{P_e}$$

H Altura de la columna líquida

P Presión

P_e Peso específico del líquido

El sistema de burbujeo constituye otro procedimiento para detectar el nivel de un líquido midiendo la columna hidrostática (Fig. II.

12). La determinación del nivel se efectúa midiendo la presión requerida para que un flujo constante de aire, venza la presión hidrostática de un líquido, hasta salir de un conducto. Como el flujo necesario es muy pequeño. Al salir el aire lo hace a manera de burbujeo, de ahí el nombre del sistema.

El nivel medido con un medidor de tipo desplazador, al igual que el flotador se basa en el principio de Arquímedes. Este método de medición de nivel permite efectuar mediciones en amplios rangos, y no requiere compensación de presión estática. Los componentes de este instrumento son los siguientes: (Fig. II. 13).

1. Mecanismo desplazador
2. Mecanismo para suspender el desplazador del fluido.
3. Resorte para "pesar" el desplazador.
4. Mecanismo para detectar el peso del desplazador.
5. Una conexión a prueba de presión para sacar el peso del desplazador.

Otro tipo de medidores de nivel que utilizan el método indirecto son los eléctricos y electrónicos. El medidor electrónico de nivel más comúnmente usado es el que se basa en el principio de capacitancia variable de un condensador, como medio para determinar el nivel.

La capacitancia de un condensador depende del coeficiente dieléctrico del material, el área efectiva de las placas y la distancia entre ellas. Por lo tanto, si se logra que alguno de estos valores se modifique proporcionalmente con las variaciones del nivel que se pretende medir se tendrá una variación de la capacitancia y consecuentemente

señal proporcional que nos indica el nivel (Fig. II. 14).

Cuando se desea controlar el nivel de un líquido dentro de un rango determinado o bien se requiere de una alarma , se puede usar un detector eléctrico de nivel, el cual consiste en un par de electrodos dispuestos verticalmente y separados entre sí. (Fig. II. 15)



Fig. II. 11 Medidores de columna hidrostática

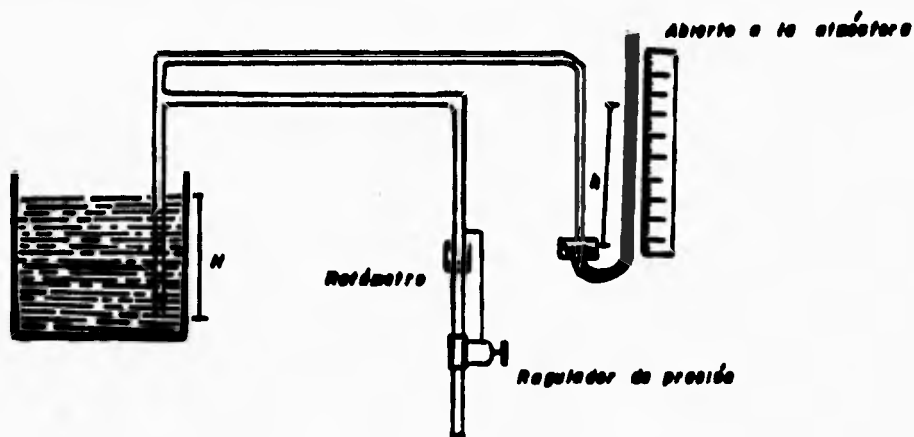


Fig. II. 12 Medidor de burbujeo

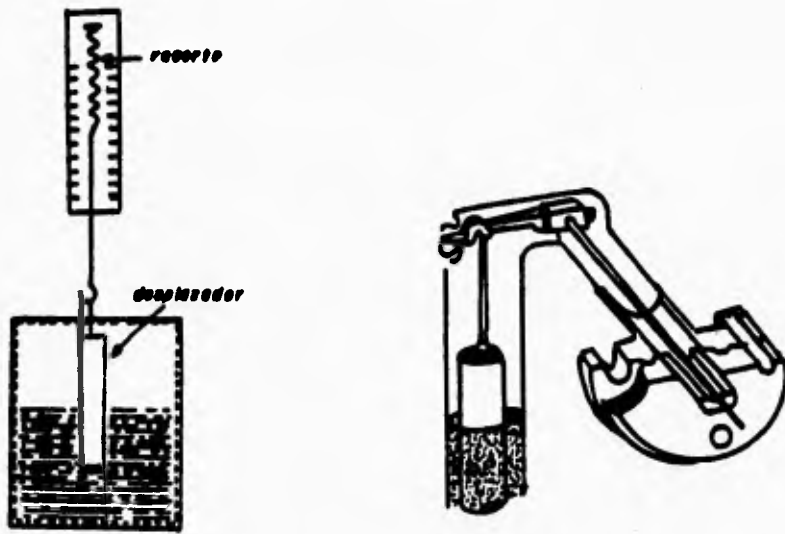


Fig. 13 Principio del desplazador

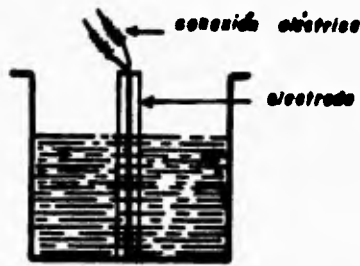


Fig. 14 Medidor de nivel tipo capacitivo

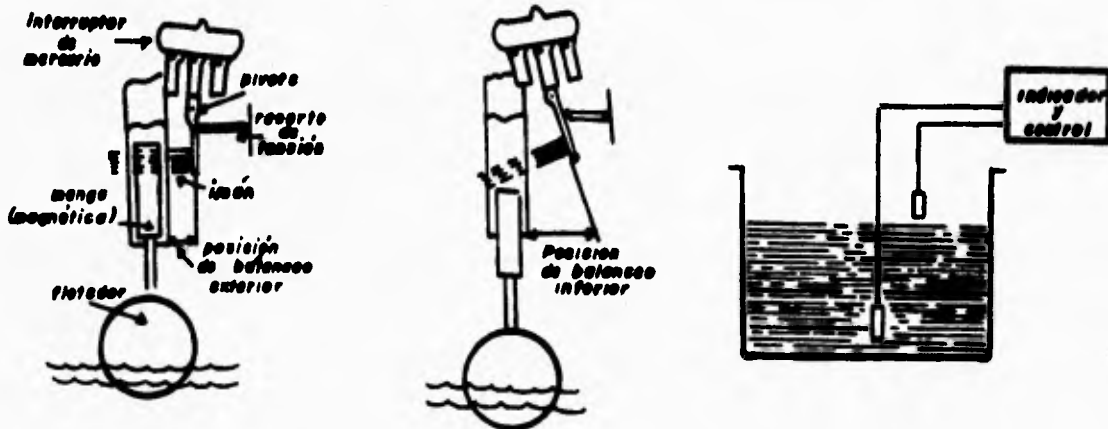


Fig. 15 Medidor de nivel tipo eléctrico

Los sistemas para detectar nivel mediante radiación de energía son relativamente modernos, entre los más importantes tenemos los siguientes :

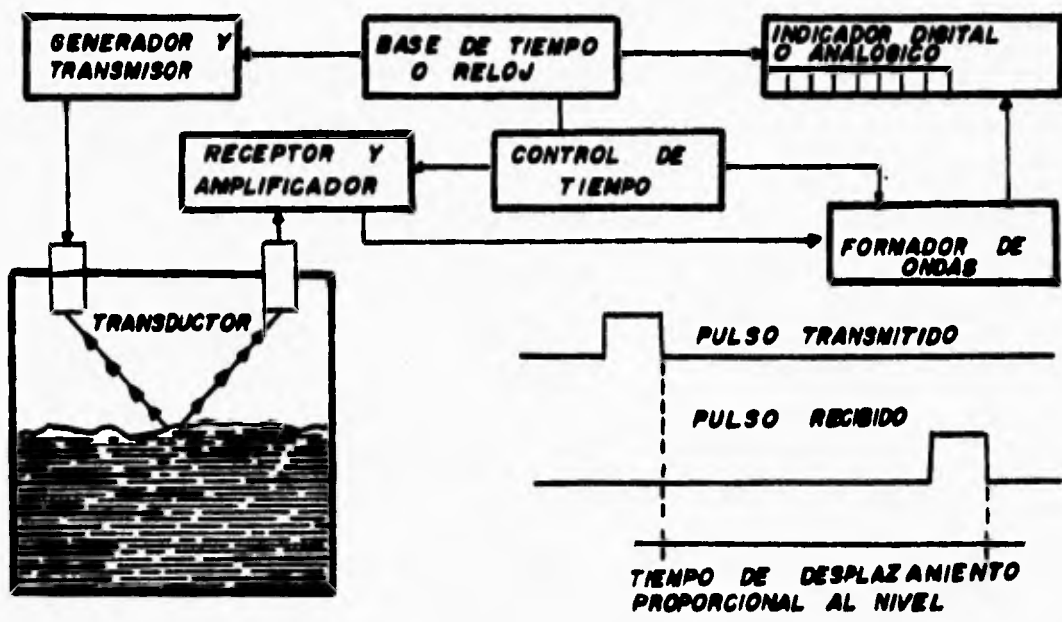
- a) Tipo sónico.
- b) Tipo óptico.
- c) Tipo nuclear.

El tipo sónico consiste en un receptor y un emisor, instalados en forma tal que permiten medir el tiempo que tarda un pulso emitido, en reflejarse en el receptor. Este tipo será proporcional al nivel. En todos los diseños la frecuencia de la señal sónica es de 20 a 40 --- khz. Para utilizar un medidor de este tipo se necesita conocer el medio a través del cual se va a transmitir la señal sónica, debido a que si el sonido no se propaga con la misma velocidad en todos los medios. Por ejemplo en el aire a 20°C se desplaza a 344 m/seg. El rango de estos instrumentos es de 15 cm. a 30 metros (Fig. II. 16).

El detector de nivel de tipo óptico, se utiliza cuando el fluido no se transparenta, ya que aprovecha la sombra producida por el líquido al alcanzar un cierto nivel. Consta de un emisor de 10 hz. y una fotocelda receptora para obtener una señalización de bajo o alto nivel (Fig. II. 17).

El de tipo nuclear utiliza la emisión de una fuente radiactiva localizada en el recipiente. El líquido en el recipiente hace variar la absorción con el nivel, en la posición A; y en la B, la intensidad de radiación varía con la distancia del detector. En el circuito del detector se emplean el contador Geiger o una celda de ionización de gas, calibrada en terminos de nivel (Fig. II. 18).

Un transmisor de nivel es un instrumento que tiene como función transmitir una señal neumática o eléctrica, representativa del nivel. El elemento detector de nivel es un instrumento que tiene como función transmitir una señal neumática y puede ser cualquiera de los antes descritos anteriormente de método directo, el más común es el de tipo desplazador (Fig. II.19).



**FIG. II. 16 MEDICION DE NIVEL TIPO SONICA
INDICACION CONTINUA**

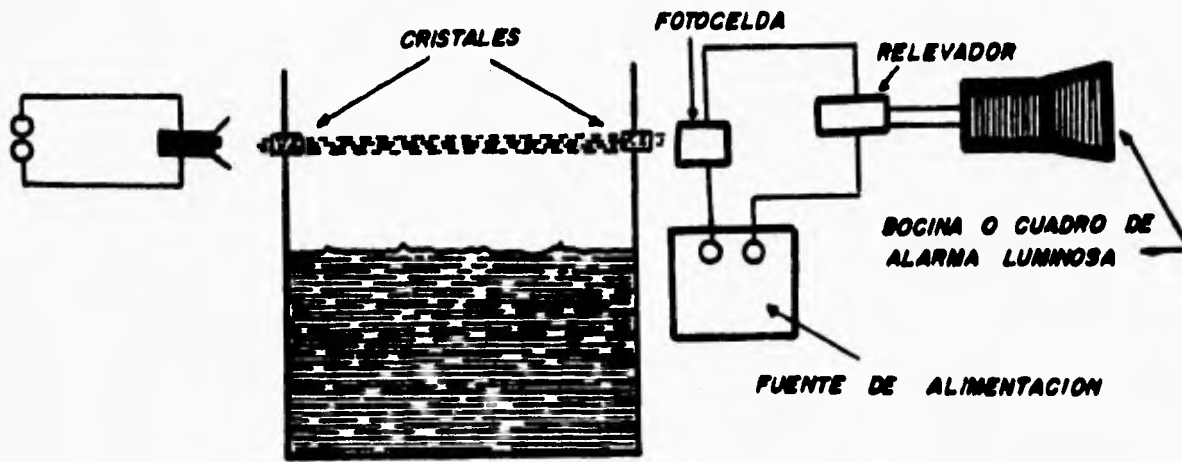


FIG. II. 17 MEDIDOR DE NÍVEL TIPO OPTICO

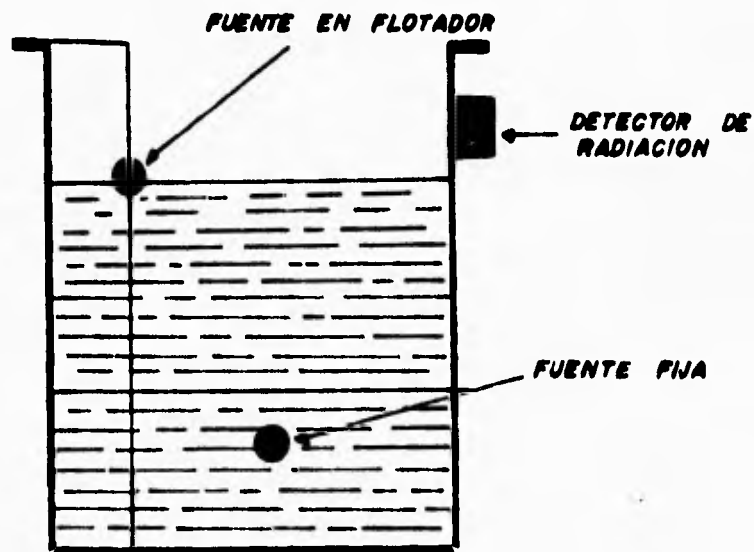


FIG. II. 18 MEDIDOR DE NIVEL TIPO NUCLEAR

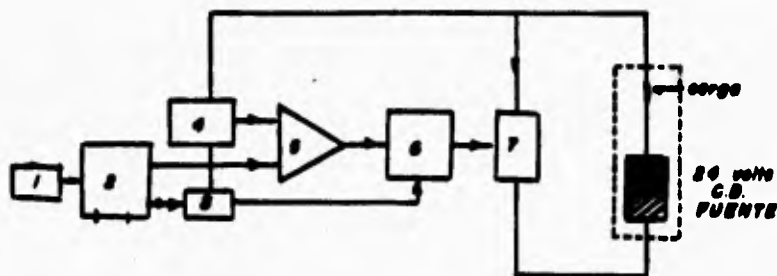


FIG. 3. 10 CIRCUITO TÍPICO DE TRANSMISIÓN SIMPLIFICADO

En la figura se muestra un diagrama a bloques con todos los elementos que constituyen un transmisor de nivel que utiliza un detector de tipo desplazador y un transformador diferencial que convierte los movimientos del desplazador en señal eléctrica.

1. Varilla de entrada al transformador diferencial
2. Transformador diferencial
3. Oscilador
4. Fuente regulada
5. Amplificador de C.A.
6. Demodulador
7. Regulador de corriente de salida

Para transmitir una señal de nivel, es común, también el uso de un transmisor de presión diferencial, si el galvanómetro de carga se gradúa en unidades adecuadas de nivel.

Dentro de una Central Termoeléctrica se requiere una medida -
objetiva de la temperatura, preferentemente numérica, recurrimos a -
un instrumento que nos permite tenerla. Este instrumento es el termó
metro . El procedimiento más simple para distinguir un cuerpo calien
te de uno frío es por medio del sentido del tacto. Sin embargo, este
procedimiento no nos permite medir el nivel de temperatura de un -
cuerpo.

La temperatura se puede definir como el promedio de la energía -
cinética de un cuerpo, o en otras palabras, es la medida del grado de
calor o frío en un cuerpo.

El calor lo podemos definir cuando se usen dos sistemas que se -
encuentran a diferentes temperaturas, la temperatura final que alcan
zan ambos sistemas tiene un valor intermedio entre las dos temperatu
ras iniciales, así que el calor lo podemos definir como todo aquello
que pasa entre un sistema su ambiente como resultado exclusivo de -
diferencia de temperaturas.

Existen cuatro escalas de temperatura utilizadas para la medi-
ción en procesos industriales o en pruebas de laboratorio.

- a) Kelvin (°K)
- b) Centígrada (°C)
- c) Fahrenheit (°F)
- d) Rankig (°R)

La escala Kelvin es también conocida como la escala de grados -
Centígrada absoluta, es de uso muy frecuente en estudios de Termodi-
námica.

La escala Rankig es igualmente conocida como la escala de gra
dos Fahrenheit absolutos y se utiliza con frecuencia en textos de -
Ingeniería.

$$^{\circ}\text{F} = 9/5 \text{ }^{\circ}\text{C} + 32$$

$$^{\circ}\text{R} = 9/5 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$^{\circ}\text{C} = 5/9 \text{ }^{\circ}\text{F} - 32$$

$$^{\circ}\text{K} = 5/9 \text{ }^{\circ}\text{R}$$

No existe un procedimiento directo para medir la temperatura en

todos los casos se aprovecha alguna propiedad de los materiales que cambie con las variaciones de temperatura. Estos cambios pueden ser: presión, volumen, resistencia eléctrica, coeficiente de expansión, radiación superficial y calor de un cuerpo.

Los termómetros se clasifican de acuerdo a su principio de funcionamiento en:

- a) Bimetálicos
- b) De vidrio con líquido interno
- c) De sistema lleno
- d) De resistencia (RTD)
- e) Termopar

Los termómetros bimetálicos basan su principio de operación en los diferentes coeficientes de expansión de los metales. Cuando una tira metálica formada por dos piezas de diferentes metales o aleaciones se calienta, la expansión diferencial de los metales provoca que la tira se flexione modificando su curvatura (Fig. II. 20).

Hay tres tipos de termómetros bimetálicos, de uso común los cuales se distinguen entre sí básicamente por el arreglo físico y geométrico del elemento. Los hay de forma espiral plana, de hélice sencilla y de hélice múltiple.

El rango normal de operación de estos instrumentos es de -185 a -550°C , y la exactitud obtenida es aproximadamente del 1% (Fig. II. 21).

Los termómetros de vidrio con líquido interno se basan en el principio de la diferencia de expansión entre el líquido y el bulbo de cristal. Existen dos versiones que son los de laboratorio y los de uso industrial. Los de laboratorio consisten en un tubo de vidrio con escala graduada. El de uso industrial cuenta con un vástago metálico y una escala separada que se adapta al termómetro (Fig. II. 22).

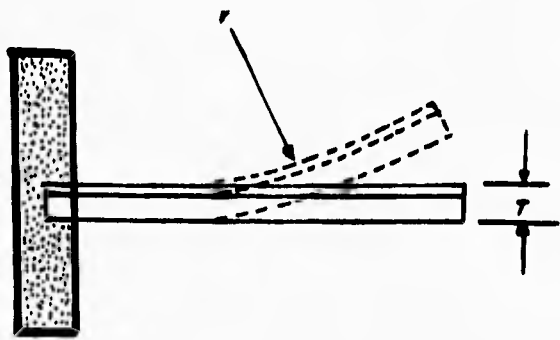


Fig.I. 20 DEFLEXION DE UN ELEMENTO BIMETALICO



Espiral plana



Helice sencilla

Fig.I. 21 ELEMENTOS PARA TERMOMETROS BIMETALICOS

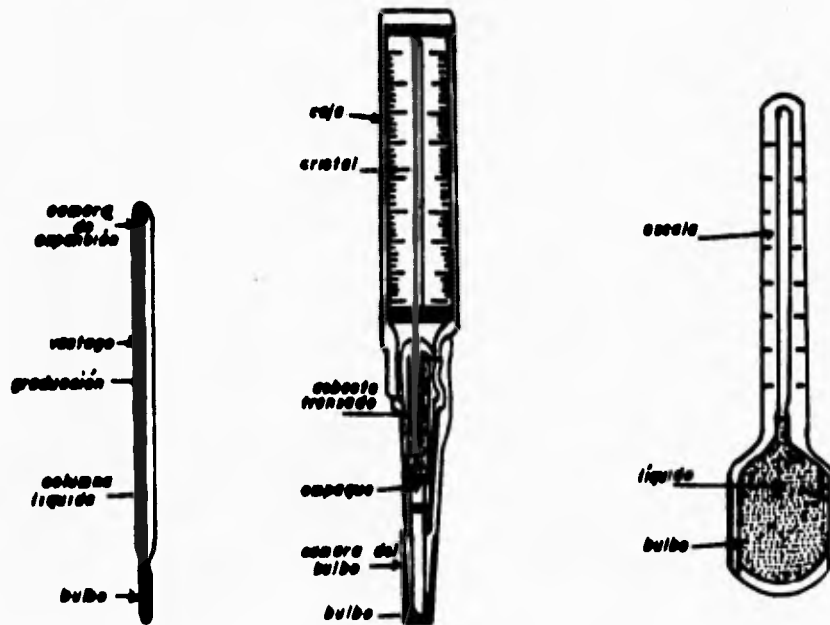
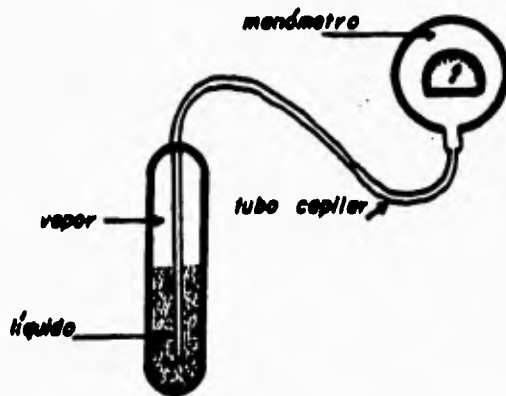


Fig.II 22 TERMOMETROS DE VIDRIO



ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

Fig. 2.23 TERMOMETRO TPO SISTEMA LLENO

El principio de operación de los termómetros de sistema lleno se basa en la expansión de un fluido en un sistema cerrado. Son los más usados por su versatilidad y bajo costo (Fig. II. 23).

Un bulbo conteniendo un líquido está conectado por medio de un tubo capilar a un elemento de medición de presión. Un incremento en la temperatura causa que el líquido o gas se expanda y como el sistema es cerrado, la presión aumentará y será detectado por el medidor, el cual tiene una escala graduada en unidades de temperatura. Dependiendo del fluido utilizado se clasifican en los que son actuados por líquido, vapor, gas, mercurio. El líquido puede ser alcohol o eter; los de vapor pueden ser de cloruro metílico o eter etílico. Los que usan gas generalmente contienen nitrógeno (Fig. II. 23).

El termómetro de resistencia es básicamente un medidor de resistencia eléctrica que se lee en unidades de temperatura.

El principio de operación se basa en la propiedad que tienen los materiales de variar su resistencia eléctrica con variaciones en la temperatura. A éste fenómeno se le llama coeficiente de temperatura de resistencia y se expresa en ohms. de resistencia eléctrica por grado de temperatura específica. El coeficiente de temperatura (α) está definido en la expresión:

$$\text{coef. de temperatura } \alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 T_2 - R_2 T_1}$$

De donde:

R_1 y R_2 son los valores de resistencia eléctrica del material a las

temperaturas T_1 y T_2 . Esta ecuación se aplica solamente en aquellos rangos donde las variaciones de temperatura guardan relación lineal con las variaciones de resistencia.

Los termopares ofrecen un método seguro simple y versátil para la medición de temperatura en procesos industriales, debido a su alta velocidad de respuesta. En 1821 Seebeck descubrió que uniendo firmemente - por uno de sus extremos dos alambres metálicos de diferente composición y sometiendo esta unión a una temperatura superior a la ambiental, entre los dos alambres se genera un mini voltaje, que se incrementa proporcionalmente al incremento de temperatura de la unión. A la unión se le conoce como junta caliente o junta de medición y los libres como junta fría. (Fig. II. 24).

Los transmisores de temperatura pueden ser neumáticos o electrónicos. Reciben señal de un termómetro de sistema lleno, de un termopar o de un bulbo de resistencia y la transforman en señal neumática de 3 a 15 lb/pg² o bien de 4 a 20 ma para el caso de los transmisores electrónicos. Cuando se emplea como elemento primario de temperatura un termopar de cualquier tipo la señal que recibe el transmisor está dada en milivolts, y es equivalente a la temperatura detectada, esta señal se transforma ya sea en corriente, voltaje, o bien señal neumática para ser transmitida de acuerdo al uso.

Dentro de una Central Termoeléctrica la medición del flujo es una de las aplicaciones más importantes, ya que muchos de los procesos dentro de la misma dependen de los datos de medición de flujo para efectos de análisis, control y cálculo.

Los primeros sistemas que fueron desarrollados para la medición de flujo en tuberías, basan sus principios en la caída de presión que sufre un fluido al encontrarse una restricción a su paso.

Algunas leyes y principios básicos nos permiten comprender con más facilidad el procedimiento para la medición del flujo.

Bernulli desarrolló una ecuación para flujo de líquidos en condiciones ideales, que establece que la energía de posición, la energía cinética y la energía de presión, pueden convertirse cualquiera de ellas en las otras dos restantes, teóricamente en pérdidas.

$$z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho} = z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho}$$

Z= Altura del punto sobre un punto de referencia

V= Velocidad del fluido

P= Presión del fluido

ρ = Peso específico del fluido

g= Gravedad

Torricelli estableció experimentalmente que el incremento de la velocidad de un fluido al pasar por una restricción, es el mismo para un cuerpo en caída libre en el vacío desde una altura igual a la altura -- hidrostática sobre el orificio.

$$Q = CA \sqrt{2gh}$$

Q= Cantidad de flujo

C= Coeficiente que toma en cuenta las propiedades físicas del fluido

2g= Fuerza o aceleración de la gravedad terrestre

h= Presión diferencial (expresada en columna)

A= Area del orificio

NUMERO DE REYNOLDS: El profesor Osborne Reynolds determinó experimentalmente que el flujo de los fluidos depende de un determinado número o relación que no tiene dimensiones, y cuya expresión es la siguiente:

$$\text{Número de Reynolds} = \frac{Dvd}{u} = \frac{\text{pie} \times \text{pie} \times \text{lb} \times \text{seg} \times \text{pie}}{\text{seg} \times \text{pie}^3 \times \text{lb}}$$

D = Diámetro de la tubería

V = Velocidad del flujo

d = Peso específico del fluido

u = Viscosidad absoluta del fluido

Como se observa este número nos relaciona la viscosidad del fluido con la velocidad y el peso específico del mismo y con el diámetro de la tubería. En términos generales podemos decir que el número Reynolds expresa si el flujo en cuestión es laminar o turbulento. Cuando dicho número es menor de 1500, indica que el flujo es laminar, entre 1500 y 3000 se produce el cambio de flujo de laminar a turbulento y con el nú-

mero de Reynolds superior a 3000 se considera que el flujo es turbulento.

El coeficiente de fricción (f) es una función del número de Reynolds y su valor es afectado también por la aspereza de la superficie e del tubo

Quedando establecido que la cantidad de flujo que pasa a través de un orificio, tiene relación cuadrática con la presión diferencial q que se establece a través de él. Por esta razón, cuando se requiere medir flujo mediante este procedimiento, debe disponerse de un elemento que nos permita producir dicha presión diferencial, sobre la tubería que conduce el fluido.

Este dispositivo se denomina elemento primario para medición del flujo.

La placa de orificio consiste en un disco de metal de aproximadamente $1/16"$ a $1/4"$ de espesor. Usualmente con un corte u orificio al centro del disco o diámetro exterior es tal que se acomoda dentro de los tornillos de las bridas estándar para tubería (Fig. II. 25).

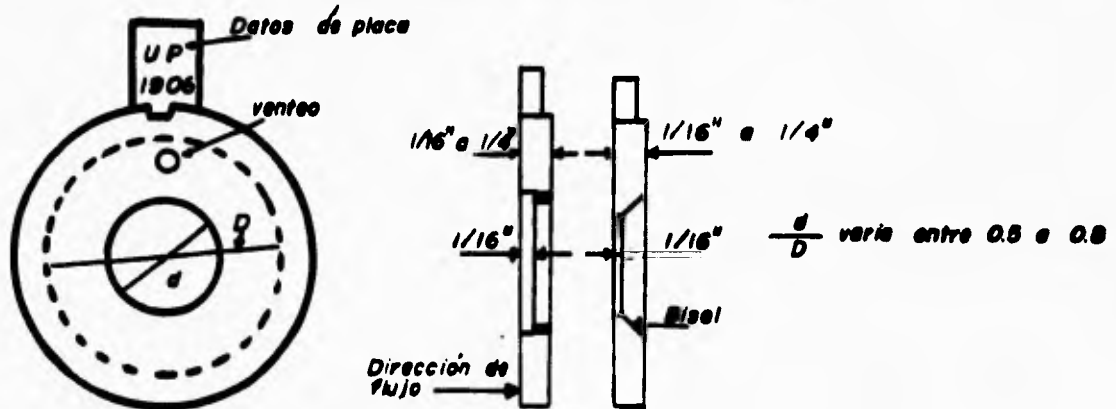


Fig. II. 25 PLACA DE ORIFICIO

Las tomas para alta y baja presión, localizadas antes y después de la placa se disponen siguiendo normas establecidas, comúnmente referidas al diámetro de la tubería. De acuerdo a su localización se clasifican como sigue:

- 1 En la brida
- 2 En la vena contracta
- 3 De cámara anular
- 4 De tubería

Las tomas en la brida se localizan sobre la misma brida portaorificio. La toma de alta en la vena contracta se localiza generalmente 1 diámetro aguas arriba de la placa, y la de baja en el punto donde la contracción del fluido es menor, lo cual ocurre a $1/2$ diámetro de agua abajo, aproximadamente.

Las tomas de cámara anular están dispuestas inmediatamente a los lados de la placa.

Las tomas de tubería se localizan a 2.5 y 8 diámetros de alta y baja respectivamente.

La tobera es otro dispositivo utilizado para producir la presión diferencial. Consiste en un tubo en forma cónica. Tiene menor pérdida de presión que la placa de orificio, pero su costo es mayor. El uso de la tobera se recomienda cuando se pretende medir un fluido con sólidos en suspensión, o bien cuando el flujo es alto.

El tubo de Venturi es un dispositivo parecido a la tobera, con la diferencia que tiene un cono de entrada, una sección recta y un cono de salida (Fig. II. 26).

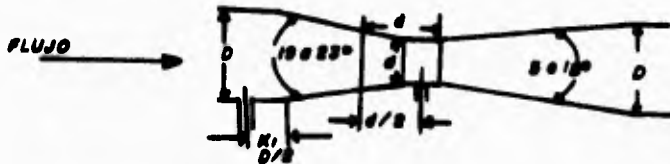


FIG. II. 26 TUBO DE VENTURI

Otro instrumento conocido con el nombre de tubo de Pitot, se utiliza como elemento primario para establecer presión diferencial en una línea de fluido. A diferencia de los anteriores, el tubo de Pitot capta la presión correspondiente a la carga por velocidad, la cual es diferente a la presión estática del fluido. Esta diferencial se maneja como carga hidrostática en relación cuadrática con el flujo.

Los medidores de flujo se clasifican de acuerdo al principio en el cual basan su funcionamiento.

- a) De presión diferencial
- b) De área variable
- c) De desplazamiento positivo
- d) Magnéticos
- e) De turbina

f) De ultrasonido

El principio de operación de los medidores de presión diferencial se basa en la relación que existe entre la velocidad del fluido y la presión diferencial que se produce al pasar éste a través de un orificio. Para producir la diferencial de presión se utiliza cualquiera de los elementos descritos en la sección anterior. La presión diferencial que puede ser neumático o electrónico el cual proporcionara una señal de salida de 3 a 15 lb/pg² o 4-20 mA para cualquier rango de presión diferencial.

$$V = \sqrt{2 gh}$$

Esta expresión significa que la velocidad del fluido es directamente proporcional a la raíz cuadrada de la diferencial de presión.

Para obtener una señal que sea directamente proporcional al flujo, se emplea un extractor de raíz cuadrada y la salida de éste se aplica finalmente a un indicador o registrador de flujo o bien como señal de entrada a un controlador.

El medidor de flujo de área variable puede considerarse una versión especial del medidor de presión diferencial, sólo que en este caso lo que varía es el área del conducto considerado.

Si observamos la ecuación básica del flujo:

$$Q = CA \sqrt{2gh}$$

La cual nos dice que el flujo es directamente proporcional al área y a la raíz cuadrada de $2gh$, podemos notar que es posible usar dos tipos de dispositivos para determinar el flujo, que este varía de acuerdo con la raíz cuadrada de $2gh$, si el área es constante, o con el área si la raíz cuadrada de $2gh$ es constante.

Al instrumento de este tipo se le llama rotámetro y está integrado por los siguientes componentes:

- 1 Tubo transparente adelgazado gradualmente
- 2 Un "flotador" (éste término no es adecuado para este dispositivo en virtud de que no flota).
- 3 Una escala graduada convenientemente.

Los medidores de desplazamiento positivo operan pasando el fluido por el medidor en porciones separadas, es decir, llenando y vaciando

un recipiente de peso o capacidad volumétrica conocida. La cantidad de flujo se determina totalizando el número de "porciones" que pasan por el medidor.

Los medidores de este tipo más usuales son los siguientes:

- Medidores de lobulos
- Contadores de aspas giratorias
- Medidor de disco oscilante

Originalmente estos medidores fueron desarrollados para aplicaciones domésticas en la medición de caudales de agua.

En la actualidad se utilizan en una gran variedad de procesos industriales.

El principio de operación de los medidores magnéticos se basa en la Ley de Faraday, que establece que la fuerza electromotriz inducida en un conductor que se está moviendo a través de un campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor.

Considerando lo anterior el fluido representa un conductor moviéndose en un campo magnético, en el cual se inducirá un voltaje de acuerdo a la siguiente expresión:

$$E = B L u * 10^{-8} \text{ volts.}$$

E = Voltaje inducido en volts

B = Densidad del flujo magnético, en gauss

u = Velocidad del conductor, en cm/seg.

L = Longitud del conductor, en cm.

Haciendo la similitud entre los dos sistemas, la longitud del conductor corresponde al diámetro del tubo del medidor, y la velocidad del fluido corresponde a la velocidad del conductor; los electrodos detectan el voltaje inducido, lo cual es tomado como una indicación directa de la velocidad del fluido.

Un medidor de tipo turbina consiste básicamente en un rotor con aspas suspendido en un caudal de flujo con su eje de rotación paralelo a la dirección del fluido. El rotor es movido por el impulso del líquido sobre los acabes. La velocidad angular del rotor es proporcional a la velocidad del fluido, la cual a su vez es proporcional al flujo.

Los medidores de flujo ultrasónicos miden el caudal por diferencia de velocidades del sonido al propagarse este en el sentido del flujo del fluido y en sentido contrario. Los sensores están situados en una tubería de la que se conoce el área. Es uno de los modelos más sencillos el cual se muestra en la figura. La velocidad del fluido está determinada por la siguiente fórmula:

$$V = \frac{C^2 \operatorname{tg} \alpha \Delta t}{2 D}$$

V = Velocidad del fluido

C = Velocidad del sonido en el fluido

α = Angulo de haz del sonido con relación al eje longitudinal de la tubería.

D = Diametro interior de la tubería

Δt = Diferencia entre los tiempos de tránsito del sonido aguas arriba y aguas abajo.

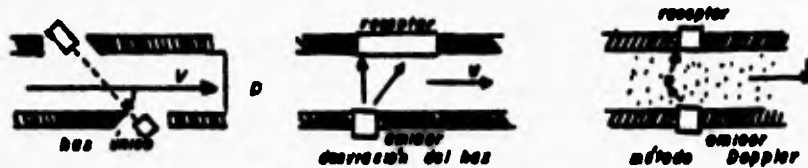


Fig. 8. MEDICION DE CAUDAL POR ULTRASONIDO

Un transmisor de flujo como su nombre lo indica, es un instrumento que desarrolla y envía una señal proporcional a la medición, para ser indicada, registrada o bien empleada como medio de control.

Los transmisores pueden ser mecánicos o electrónicos, en la actualidad los transmisores comunmente empleados son los de celda de presión diferencial. Si el instrumento es neumático, el rango usual de transmisión es de 3 a 15 lb/pg² y si es electrónico su salida será de 4 a 20 mA. Puesto que la señal enviada por el transmisor es cuadrática dadas las características del fluido a través del elemento primario, se hace necesario tener una señal "lineal" representativa del flujo medido, con el objeto de tener compatibilidad con la mayoría de los instrumentos de indicación, registro y control. Los extractores de raíz cuadrada son de tipo electrónico.

- ELEMENTOS FINALES DE CONTROL -

En todos los procesos, los elementos finales de control constituyen la etapa de potencia de los sistemas de control, proporcionando la energía necesaria para modificar las condiciones de un fluido, partiendo de niveles bajos de energía proveniente de elementos que pueden ser neumáticos, eléctricos o electrónicos.

Por su función dentro del proceso, los elementos finales están físicamente ubicados en condiciones muy severas, comparados con los restantes elementos de control. Están normalmente sometidos a temperatura, presión, corrosión y contaminación, por lo que sus características de diseño toman en cuenta esta condición.

Los elementos finales, como su nombre lo indica, tienen la función última de manejar la variable controlada, o bien algún flujo que afecte directamente a dicha variable.

Tenemos dos tipos de elementos finales de control.

- .) Válvulas de control
- ..) Servomotores

Una válvula de control es un dispositivo que tiene como función específica controlar el flujo que pasa a través de una tubería, o bien interrumpirlo si su función es de abrir y cerrar solamente. Están constituidas de dos partes principales que son el actuador y el cuerpo; cada una de estas partes está integrada a su vez por una serie de componentes que serán descritos más adelante (Fig. II. 28). Los cuales le dan a la válvula sus características de operación y su aplicación para cada servicio.

De acuerdo a las características del cuerpo y del tapón, las válvulas de control se clasifican como sigue:

- a) Válvulas de globo
- b) Válvulas Saunders (de diafragma)
- c) Válvulas de mariposa
- d) Válvulas de bola

Cada uno de estos tipos de válvulas tienen ventajas y desventajas, por lo que su aplicación para cada servicio se decide considerando los

siguientes aspectos del proceso:

- a) Presión del fluido
- b) Caída de presión
- c) Tipos de fluido
- d) Temperatura
- e) Características del proceso

Cabe notar que la definición de las condiciones anteriores, nos --
permiten seleccionar la configuración del cuerpo y del tapón de la -
válvula, quedando por resolver el dimensionamiento de la misma.

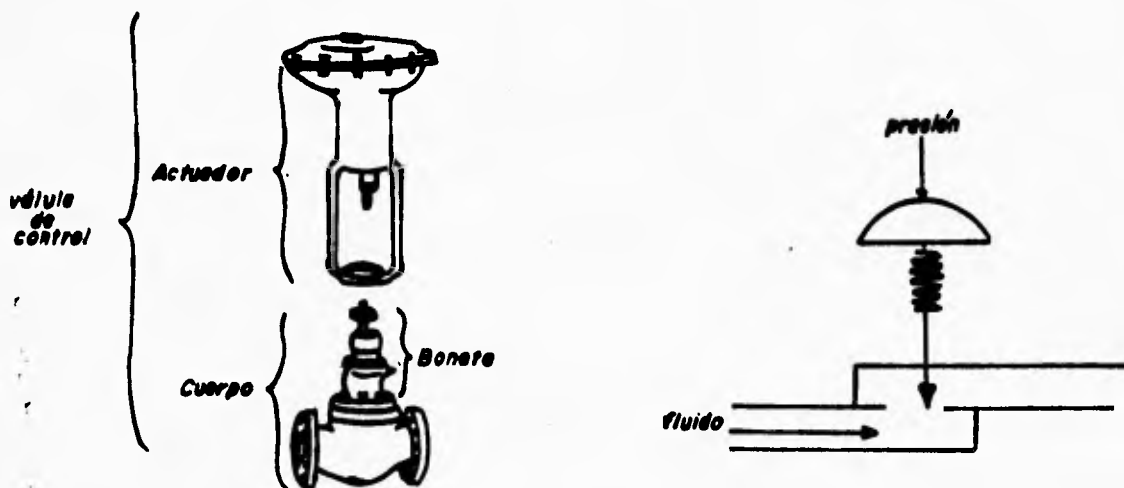


Fig. II. 28

Las modificaciones a los cuerpos de las válvulas tratan de alcanzar el mejoramiento en las siguientes características:

- a) Regulación ideal en todas las carreras del vástago
- b) Capacidad suficiente para el servicio deseado
- c) Resistencia a la erosión
- d) Resistencia a la corrosión
- e) Tolerancia
- f) Resistencia
- g) Facilidad de montaje.

- ACTUADORES -

En los elementos finales de control, los actuadores son los dispositivos de potencia que operan el mecanismo que operan directamente con el fluido de la variable manipulada o controlada.

Para su operación reciben una señal de bajo nivel, la cual es amplificada por diferentes medios para obtener la fuerza requerida. Dependiendo del tipo de señal los actuadores se clasifican como sigue;

- a) Neumáticos
- b) Eléctricos
- c) Hidráulicos
- d) Manuales

Los actuadores neumáticos son más comunes debido a la simplicidad de su diseño, los actuadores eléctricos y electrohidráulicos son más complejos que los neumáticos, y se usan donde no hay suministro de aire o donde la baja temperatura ambiente podría congelar el agua condensada en las líneas de suministro neumático, o donde se requiere una gran fuerza en el vástago.

Lo que se busca en un actuador de tipo neumático, es que a cada valor de la presión recibida por la válvula corresponda una posición determinada del vástago. Las fuerzas que intervienen en el actuador son las originadas por la presión neumática sobre el diafragma y la acción del resorte (Fig. II. 1.29).

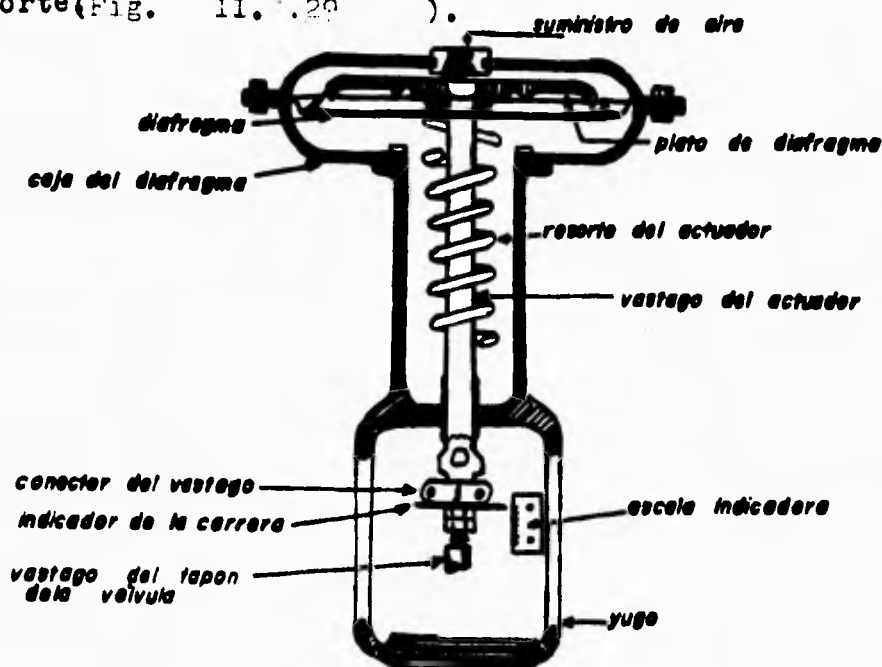


Fig. II. 1.29 ACTUADOR NEUMÁTICO DE UNA VALVULA DE CONTROL

- TIPOS DE ACCION -

Según su acción, los cuerpos de las válvulas se dividen en válvulas de acción directa, cuando tienen que bajar para cerrar e inversa - cuando tienen que bajar para abrir. Esta misma división se aplica a los actuadores, que son de acción directa cuando aplicando aire al vástago se mueve hacia abajo e inversa cuando al aplicar aire el vástago se mueve hacia arriba (Fig. II. 30).

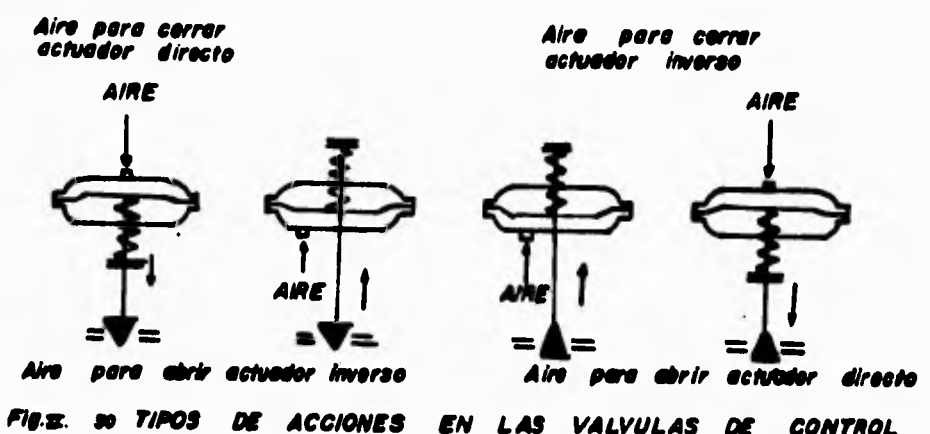


FIG. 30 TIPOS DE ACCIONES EN LAS VALVULAS DE CONTROL

Al combinar estas acciones se considera siempre la posición de la válvula sin aire sobre su diafragma, con el resorte manteniendo el diafragma y por lo tanto la válvula en una de sus posiciones extremas.

Cuando la válvula se cierra al aplicar aire sobre el diafragma o se abre cuando se quita el aire debido a la acción del resorte, se dice que la válvula sin aire o con aire cierra (acción directa). Al abrir la válvula, cuando se aplica aire sobre el diafragma y se cierra por la acción del resorte cuando se quita el aire, se dice que la válvula sin aire cierra o con aire abre (acción inversa).

Al seleccionar la válvula es importante considerar estos factores, sobre el punto de vista de seguridad. Ninguna instalación está exenta de averías y una de ellas puede ser un fallo de aire o de corriente de alimentación con lo cual la válvula pasa naturalmente a una de sus posiciones extremas, y esta debe ser la más segura para el proceso.

- Cavitación y evaporación instantanea (flasheo)

La presencia de cavitación o la evaporación instantanea de un fluido líquido dentro de una válvula de control puede tener un efecto signi

- TIPOS DE ACCION -

Según su acción, los cuerpos de las válvulas se dividen en válvulas de acción directa, cuando tienen que bajar para cerrar e inversa - cuando tienen que bajar para abrir. Esta misma división se aplica a los actuadores, que son de acción directa cuando aplicando aire al vástago se mueve hacia abajo e inversa cuando al aplicar aire el vástago se mueve hacia arriba (Fig. II. 30).

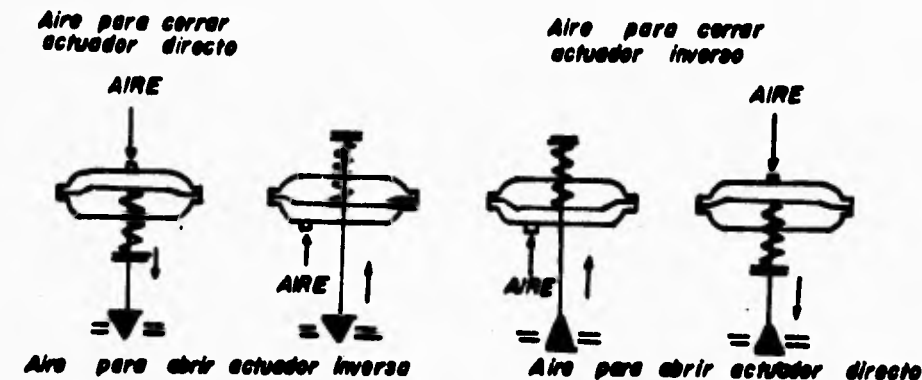


FIG. 30 TIPOS DE ACCIONES EN LAS VALVULAS DE CONTROL

Al combinar estas acciones se considera siempre la posición de la válvula sin aire sobre su diafragma, con el resorte manteniendo el diafragma y por lo tanto la válvula en una de sus posiciones extremas.

Cuando la válvula se cierra al aplicar aire sobre el diafragma o se abre cuando se quita el aire debido a la acción del resorte, se dice que la válvula sin aire o con aire cierra (acción directa). Al abrir - la válvula, cuando se aplica aire sobre el diafragma y se cierra por la acción del resorte cuando se quita el aire, se dice que la válvula sin aire cierra o con aire abre (acción inversa).

Al seleccionar la válvula es importante considerar estos factores, sobre el punto de vista de seguridad. Ninguna instalación está exenta de averías y una de ellas puede ser un fallo de aire o de corriente de alimentación con lo cual la válvula pasa naturalmente a una de sus posiciones extremas, y esta debe ser la más segura para el proceso.

- Cavitación y evaporación instantanea (flasheo)

La presencia de cavitación o la evaporación instantanea de un fluido líquido dentro de una válvula de control puede tener un efecto signi

ficativo en el procedimiento de selección de válvulas de control. Estos dos fenómenos físicos relacionados tienden a limitar el flujo a través de la válvula en muchas aplicaciones comunes y deben por lo tanto, ser tomados en consideración con el objeto de determinar en una forma precisa el tamaño de las válvulas de control.

El daño físico a la válvula y tubería adyacente es inminente cuando hay cavitación o flasheo por lo que el conocimiento de lo que está sucediendo realmente dentro de una válvula, permite seleccionar el tamaño del diseño adecuado, por lo que reducirá o compensará los efectos poco deseables, cavitación o evaporación instantánea (flasheo).

El término fenómeno físico es empleado para describir a la cavitación y al flasheo, debido a que estas dos condiciones representan -- cambios reales en la forma del fluido. El cambio es cuando el fluido pasa de su fase líquida a su fase vapor y que resulta de un aumento en la velocidad del fluido al pasar éste a través de una restricción (orificio de la válvula).

Cuando el flujo de un líquido pasa a través de una restricción, hay un estrangulamiento o contracción de la corriente del fluido. La mínima área de sección transversal de la corriente de flujo se localiza inmediatamente después de la restricción, en un punto llamado vena contracta.

Para mantener firme el flujo de un líquido a través de una válvula, la velocidad debe ser la más alta en su vena contracta, donde el área de la sección transversal es la más pequeña. El aumento en la velocidad (o energía cinética) va acompañada por una substancial disminución en la presión (o energía potencial) en la vena contracta. Cuando la corriente del fluido se expande en un área mayor aguas abajo de la restricción, la velocidad disminuye y la presión aumenta, pero, por supuesto la presión corriente abajo nunca se recupera completamente. La caída de presión que existe a través de la válvula es una medida de la cantidad de energía que fué disipada en el interior de la válvula.

La caída de presión de interés para el análisis de la evaporación instantánea (flasheo) y cavitación, es la diferencia entre la presión de entrada y la presión de la vena contracta.

Si la presión en la vena contracta cae abajo de la presión de vapor del fluido líquido en cuestión, (debido al aumento en la velocidad del flujo en ese punto) inmediatamente se forman burbujas de vapor en la corriente de ese líquido. La formación de tales burbujas aumentará considerablemente en la vena, al caer la presión más allá de la presión de vapor del líquido.

En esta primera etapa, no hay diferencia entre la cavitación y el flasheo, sin embargo el daño estructural a la válvula definitivamente se presenta. Si la presión a la salida de la válvula permanece abajo de la presión de vapor del líquido, las burbujas permanecerán en el sistema de aguas abajo y el proceso se dice que esta "flasheando".

El flasheo o evaporación instantánea puede producir serio daño corrosivo a las partes internas de una válvula de control, dicho daño se caracteriza por una apariencia lisa o pulida de la superficie erosionada.

CARACTERISTICAS DE VALVULAS DE CONTROL

La característica es la relación del cambio en la apertura de la válvula al cambio de flujo a través de ella. Las características más comunes usadas son: igual porcentaje, lineal y apertura rápida.

Las distintas relaciones entre el porcentaje de flujo y la apertura se logran mediante la forma dada al tapón y al asiento en su maquinado, así como también a la caja o guía del tapón, la cual nos proporciona la característica. (Fig. II. 31).



APERTURA RAPDA



LINEAL



IGUAL PORCENTAJE

FIG. II. 31 DIFERENTES TIPOS DE CAJAS DE VALVULAS

En la siguiente figura (Fig. II. 32) se muestran las características inherentes a las válvulas de control; en estas curvas se considera que la caída de presión a través de la válvula permanece constante.

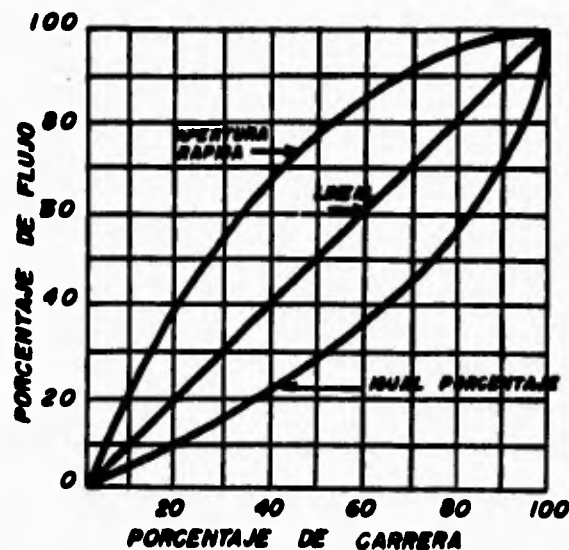


FIG. 32 CARACTERÍSTICAS DE LAS VALVULAS DE CONTROL

(Fig. II. 32). Características de las válvulas de control.

Apertura rápida.- La característica de apertura rápida permite grandes flujos desde el principio de la carrera del vástago; como se ve, es posible tener un 70% del flujo con solo el 40% de apertura . Esta característica se emplea generalmente en sistemas de control on-off.

Lineal.- En esta característica se pretende que para cada porcentaje de apertura se tenga el mismo porcentaje de flujo.

Igual porcentaje.- En esta característica se pretende que una curva en la que para incrementos iguales de apertura se tengan cambios iguales en proporción del flujo.

Aparentemente la válvula de característica lineal sería la mejor para los sistemas de control, pero su comportamiento deja de ser lineal si la caída de presión aumenta al disminuir la apertura. Al aumentar la caída de presión el flujo tiende a aumentar, y esta deformación de la característica lineal se ve compensada por la curva de igual porcentaje, por lo que es recomendable en los casos donde la caída varíe con la apertura de la válvula.

- SERVOMOTORES -

El servomotor es una unidad de potencia cuya función es posicionar compuertas, válvulas de mariposa, rehostatos, brazos movibles, levas, etc. en dispositivos tales como alimentadores, acoplamientos hidráulicos, etc. Deberán ser lo suficientemente potentes para desarrollar esta función en cuestión de segundos, independientemente de la carga ejercida sobre ellos. La unidad de potencia más comunmente usada es el servomotor operado por émbolo. Existen en varios tamaños, dependiendo de las cargas que se van a mover. Cuando se encuentran equipados con cubiertas pueden trabajar a la intemperie.

Cada servomotor puede ser operado ya sea automáticamente como parte de un sistema de control, en forma manual por medio de una estación selectora, o bien utilizando un mecanismo asociado al propio motor que nos permite operarlo localmente.

- Selección de válvulas de control -

Seleccionar la válvula de control apropiada para una aplicación particular puede variar desde un sencillo hasta un problema muy complejo. Sin embargo, la mayoría de las válvulas de control requieren solamente procedimientos sencillos para asegurar que se escoja el diseño más económico y adecuado.

Para seleccionar una válvula de control se deben tener en cuenta los siguientes criterios: consideración de presión, caída de presión, tipo de fluido, temperatura y cálculo de tamaño por capacidad.

Calculo de tamaño por capacidad- Una vez que se ha seleccionado la configuración, la válvula de control puede ser dimensionada. Dimensionar es exactamente lo que el nombre indica; es el procedimiento donde se selecciona el tamaño de válvulas mas conveniente para controlar su proceso.

Conociendo el flujo máximo y el mínimo y las caídas de presión en cada flujo uno puede calcular la capacidad requerida; las capacidades (expresadas en Cv para líquidos, Cg para gases y C_v para vapor) son tabuladas por cada fabricante en su literatura. Usando las técnicas publicadas por éste, toma solo unos minutos seleccionar una válvula

con la capacidad apropiada. La mayoría de los fabricantes tienen disponibles una progresión lógica por capacidades para ayudar a seleccionar el tamaño.

Coefficiente de dimensión Cv para líquidos.- Usando el principio de la conservación de la energía, Bernoulli descubrió que para flujos pasando a través de un orificio, la velocidad varía de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$V^2 = K \frac{P}{G}$$

donde:

V = Velocidad

K = Constante proporcionalidad

P = Caída de presión de la restricción

G = Gravedad específica del fluido

y el flujo

$$Q = VA$$

donde:

Q = Flujo

A = Area

V = Velocidad

Relacionando las dos ecuaciones se tiene:

$$Q = A \frac{P}{G}$$

$$Q = CA \frac{P}{G}$$

que nos da la relación del flujo (Q) la presión diferencial (P), la gravedad específica (G) y el área de flujo (A). La constante (C) involucra la constante de proporcionalidad.

Para compensar las pérdidas de energía causadas por turbulencia y fricción del flujo a través del orificio, se adiciona un coeficiente de descarga el cual es diferente para cada tipo de orificio.

$$Q = C \quad C_a \quad \frac{P}{G}$$

Dado que el área de flujo es también función única para cada tipo de orificio es posible combinar los 3 términos en uno solo, que cuando se aplica a válvulas es llamado coeficiente C_v .

$$Q = C_v = \frac{P}{G}$$

El C_v es determinado experimentalmente para cada tipo, tamaño y estilo de válvula. Una vez que determinamos el estilo adecuado, la válvula deberá tener un C_v aproximadamente 30% mayor que el calculado.

Corrección por viscosidad:

La fórmula para calcular el coeficiente C_v es adecuada para usarla con agua pero cuando usamos fluidos extremadamente viscosos podemos incurrir en errores significativos al dimensionar, si olvidamos el efecto de la viscosidad, del fluido en cuestión.

El C_v requerido o corregido (C_{vr}) se encuentra de la ecuación:

$$C_{vr} = C_u F_v$$

donde:

C_{vr} Coeficiente de flujo corregido

C_u Coeficiente calculado

F_v Factor de corrección.

El factor de corrección F_v se encuentra utilizando la gráfica de corrección por viscosidad

Con el número de Reynolds del fluido, se interseca la curva de corrección que se muestra en la desde este punto seguimos hasta el eje de F_v para encontrar el factor de corrección y aplicamos la fórmula:

$$C_{ur} = C_v F_v \text{ para obtener el } C_u \text{ corregido.}$$

III SISTEMAS DE AGUA DE CIRCULACION

III.I ABASTECIMIENTO Y TRATAMIENTO DE AGUA DE CIRCULACION

GENERALIDADES

Nosotros relacionamos el significado de la palabra agua, con el abastecimiento de energía eléctrica y su importancia, es vital no solo para la generación de vapor, sino también para el enfriamiento y condensación.

En una Central Termoeléctrica el agua es la responsable de que existan depósitos en un sistema de agua-vapor-condensado. Esto es debido a su contenido de sólidos en suspensión, así como de sólidos y gases disueltos.

El tratamiento de agua desde el punto de vista químico, permitirá conocer las características del agua, sus contaminantes, el comportamiento de éstos, su efecto y su manera de eliminarlos.

ORIGEN Y CARACTERISTICAS DEL AGUA

Origen.- El agua puede provenir de cinco fuentes principales:

- a).- Agua de lluvia y superficial
- b).- Agua de manantiales y ríos
- c).- Agua de pozos y perforaciones
- d).- Agua de mar
- e).- Planta de tratamiento de aguas negras

El agua de las fuentes antes mencionadas que no han recibido ningún tratamiento, se le conoce con el nombre de agua cruda. El agua como se encuentra en la naturaleza, no es totalmente pura si así fuera no serían necesarios los análisis del agua ni los tratamientos

para acondicionarla a los usos a que se destinan.

El agua tiene características como las siguientes:

- a) Entre las sustancias inorgánicas comunes, tiene la más alta capacidad para absorber calor sin cambiar su temperatura.
- b) No sufre alteraciones químicas con calentamiento dentro del rango de temperatura comunmente encontradas en la industria.
- c) A la temperatura ambiente puede controlarse y hacerse fluir facilmente.
- d) Su manejo no presenta riesgos.
- e) Es aún abundante y barata.

Las impurezas que generalmente se encuentran en el agua se pueden clasificar en:

- | | | |
|------------------------------|----------------------|---|
| | a) Inorgánicas | Limo (0,05-0.002MM)
Arena (2 - 0,05 MM) |
| 1) Sustancias en suspensión. | b) Orgánicas | Material vegetal y animal |
| | a) Sales inorgánicas | OH^- , CO_3^- , HCO_3^-
SO_4^- , Cl^- , NO_2^-
NO_3^- , H_2SiO_3 , Na^+
K^+ , NH_4^+ , Ca^{++} ,
Mg^{++} Fe^{++} |
| 2) Sustancias disueltas. | b) Sales orgánicas | |
| | c) Gases | CO_2 , O_2 , N_2 |
| 3) Impurezas coloidales. | | Arcilla y sílice muy finamente dividida (0.002 MM) hidróxidos de fierro y aluminio, productos orgánicos residuales, ácidos húmicos, sustancias colorantes |

SOLIDOS DISUELTOS.- Los minerales que el agua disuelve de las rocas consisten principalmente de CaCO_3 (piedra caliza), MgCO_3 (dolomita), CaSO_4 (gypsum), MgSO_4 (sal de epsom), sílice, (arena) NaCl (sal común) Na_2SO_4 (sal de glauber) y pequeñas cantidades de hierro, aluminio, - fluor y otras sustancias.

Los problemas de corrosión y depósitos debidos al agua y sus impu rezas, se deben a cuatro factores:

- a) La solubilidad de las impurezas en particular
- b) El efecto de la temperatura
- c) La alcalinidad o acidez del agua
- d) Las condiciones de oxidación o reducción presentes.

En los procesos en los que el agua se evapora, las impurezas se concentran y el depósito se presenta cuando se excede el límite de so- lubilidad debido a cambios de temperatura, acidez, alcalinidad. Los minerales comunes presentes en las aguas naturales, pueden clasificar- se en cuatro categorías basados en consideraciones de solubilidad:

- a) Compuestos de calcio y magnesio
- b) Compuestos de sodio
- c) Sílice
- d) Compuestos de hierro y manganeso

La solubilidad de las sales de sodio, de calcio y magnesio son afectadas apreciablemente por la temperatura del agua, sobre los - óxidos de hierro y la sílice no ocasiona grandes variaciones. La so- lubilidad de la sílice se encuentra afectada por la alcalinidad o - acidez (Fig. III.1.1). también afectan a la solubilidad de las sales de hierro y manganeso.

La solubilidad de las sales de dureza tienden a disminuir con - elevación de temperatura . La alcalinidad disminuye el dióxido de - carbono aumenta.

La solubilidad de las sales de sodio es primeramente afectada por la temperatura, aumentándola. Los depósitos que contengan grandes cantidades de sodio son debido a una extrema concentración o a una - evaporación hasta sequedad.

La solubilidad de la sílice aumenta conforme aumenta la alcalinidad. El hierro y el manganeso disminuyen su solubilidad conforme aumenta la alcalinidad y conforme aumenta el grado de oxidación. Por lo general, las aguas naturales contienen menos de 1 ppm. de hierro soluble ya que al estar expuestas al aire el hierro se precipita como óxido férrico.

GASES DISUELTOS.- Los gases que pueden estar disueltos en el agua son oxígeno, dióxido de carbono y amoníaco. La disolución de un gas en el agua tiene relación con tres factores:

- a) Su reacción química con ella o su presencia como gas libre.
- b) Su presión parcial en el agua y en la atmósfera que lo rodea
- c) La temperatura del agua.

El oxígeno no se ioniza al disolverse en agua, permaneciendo como oxígeno libre y en esto difiere del dióxido de carbono y del amoníaco ya que éstos hasta cierto punto están ionizados dependiendo de las condiciones químicas del agua.

Solo los gases en estado libre ejercen una presión en el agua y pueden ser removidos mecánicamente. El oxígeno puede removerse por deaireación y el CO_2 y el amoníaco lo serán únicamente en su parte presente como gas libre.

TRATAMIENTO DEL AGUA DE CIRCULACION MEDIANTE EL METODO DE SUAVIZACION Y DESMINERALIZACION POR INTERCAMBIO IONICO

MATERIALES DE INTERCAMBIO IONICO

Los materiales de intercambio iónico usados son;

- a) Zeolitas
- b) Resinas carbónáceas
- c) Resinas poliestirénicas

Zeolita.- El nombre de zeolitas deriva de dos palabras griegas (Zeinlithos) que significa piedra nirviente. Este término lo aplicó primeramente Cronstedt un geólogo sueco en 1750, a ciertas clases de

minerales, los que cuando se calentaban fuertemente se inchaban y perdían agua de hidratación. Las zeolitas son silicatos dobles, hidratados de un álcali, de un óxido alcalino térreo, alúmina, sílice y agua. Las proporciones son una mol de álcali, una de aluminio, de 2 a 10 moles de sílice y de 2 a 6 moléculas de agua.

Existen tres tipos de zeolitas que son las siguientes:

- a) Zeolitas fundidas
- b) Zeolitas gelatinosas
- c) Zeolitas greensand

Resinas Carbonáceas.- Estos intercambiadores catiónicos se hacen por la sulfonación de carbón quebrado y clasificado. Esta operación introduce **grupos** sulfónicos en los compuestos orgánicos presentes en el carbón, siendo éste lo que imparte las propiedades de intercambio catiónico. También están presentes algunos grupos carboxílicos y aunque éstos son de poco valor en el ciclo sódico, lo tiene para eliminar bicarbonatos en el ciclo hidrógeno.

Resinas Poliestirénicas.- Estos intercambiadores catiónicos, hechos por la copolimerización de estireno y divinil benceno seguido de sulfonación efectuando la polimerización en un baño líquido agitado, la resina se producen en forma de pequeñas esferitas, estas esferitas se lavan, se secan y se sulfonan con tratamiento de ácido sulfúrico. El exceso de ácido se elimina y las últimas trazas se neutralizan con Na_2CO_3 . Las resinas poliestirénicas tienen mayor capacidad y son las más estables, por lo que se usan con mayor frecuencia.

Clasificación de Resinas de Intercambio Iónico.

Los grupos iónizables adheridos a la estructura de la resina, determina la capacidad funcional del intercambiador, Las resinas utilizadas industrialmente en tratamiento de agua pueden clasificarse como sigue:

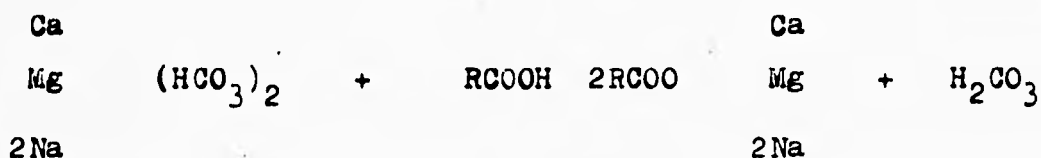
- a) Resinas catiónicas fuertemente ácidas
- b) Resinas catiónicas debilmente ácidas

c) Resinas aniónicas fuertemente básicas.

d) Resinas aniónicas debilmente básicas.

Resinas Catiónicas fuertemente Acidas.- Pueden convertir las sales neutras en sus correspondientes ácidos, esta habilidad se conoce como "Divisora de Sales" y distingue las características del agua tratada por resinas fuertes y débiles.

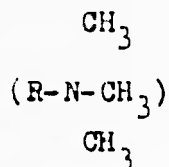
Resinas Catiónicas debilmente Acidas.- Tienen grupos carboxílicos (- COOH), y cuando son operadas en el ciclo del hidrógeno, pueden remover cationes asociados con la alcalinidad de bicarbonatos. La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



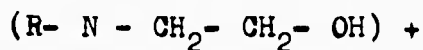
Estas reacciones son también reversibles y permiten la regeneración acida. Debe entenderse que las resinas catiónicas débiles no remueven cationes asociados con radicales ácidos fuertes como sulfatos, cloruros y nitratos.

La principal ventaja o característica sobresaliente de las resinas débiles ácidas es su alta eficiencia en regeneración lo cual no solamente reduce la cantidad de ácido requerido para regeneración, sino que también disminuye los problemas que descarga de desperdicio.

Resinas Aniónicas fuertemente Básicas.- Derivan su funcionabilidad del intercambio en la estructura del amonio cuaternario y hay dos tipos de grupos funcionales referidos como tipo I y II. En el tipo I, se tiene un radical cuaternario de amonio (se tienen tres grupos metilos.).



Con una pequeña modificación, un grupo etanol reemplaza uno de los grupos metilo en las resinas tipo II.

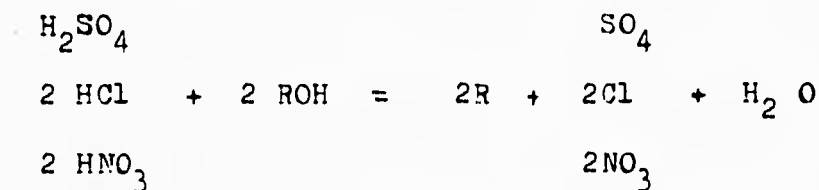


La principal diferencia entre estas dos resinas es que la tipo I, tiene una estabilidad química mayor, mientras que la tipo II, tiene mayor eficiencia en regeneración y mayor capacidad.

Las reacciones son también reversibles y la regeneración son con álcalis fuertes tales como la sosa cáustica.

Las resinas fuertemente básicas funcionan en todo el rango del PH y pueden alterar una sal neutra hasta su base correspondiente.

Resinas débilmente básicas.- Tienen como grupo funcional aminas primarias $\text{R}-\text{NH}_2$, aminas secundarias $\text{R}-\text{NH}-\text{R}$ o aminas terciarias $-\text{NR}_3$ solamente pueden eliminar ácidos altamente disociados (H_2SO_4 , HCl y HNO_3) y la reacción es la siguiente:



Las resinas débilmente básicas se regeneran con sosa cáustica, carbonato de sodio o amoniaco y su eficiencia en regeneración es mucho mayor que la de las resinas fuertemente básicas.

Las resinas débilmente básicas no remueven ácidos débiles tales como el silícico y carbónico.

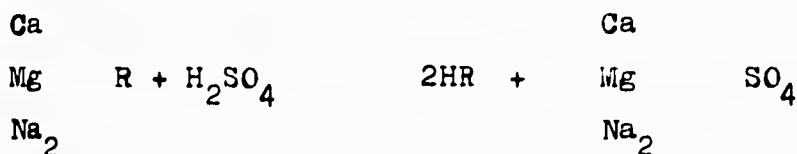
SUAVIZACION.

La presencia de sales de calcio y magnesio provocan problemas de incrustación en calderas y equipos de calor, condensadores, para lo que es necesario remover dichas sales por el proceso de intercambio que denominamos suavización.

El proceso de suavización por zeolitas ya se encuentra casi en su totalidad en desuso en Comisión Federal de Electricidad, por lo que únicamente hablaremos de resinas poliestirénicas.

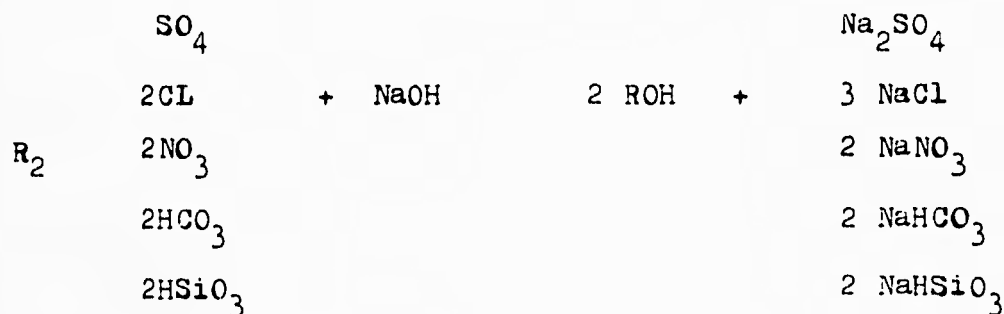
REGENERACION.

La reacción de intercambio iónico puede continuar hasta agotar la capacidad de las resinas, las que deberán de retornar a su estado original mediante regeneración, en el caso de las resinas catiónicas es como sigue:



Siguiendo la regeneración del ácido en exceso, el calcio, el sodio y el magnesio, son enjuagadores del lecho.

La regeneración de las resinas aniónicas se efectúa mediante sosa cáustica para las resinas fuertes y sosa cáustica, carbonato de sodio o amoniaco para las débiles conforme a la reacción siguiente:



Después de la regeneración las sales y el álcali en exceso son enjugados del lecho de resina.

CALIDAD DEL AGUA CRUDA.

Para obtener una aceptable eficiencia en operación el agua a tratar debe mantenerse libre de material suspendido, aceite y otras impurezas que pueden ser retenidas entre las partículas de resina, el cloro libre si se encuentra presente en cantidades superiores a 0.3 ppm, puede atacar a las resinas fenólicas y al carbón sulfonado y cuando existen trazas de cobre la misma concentración de cloro puede

de regeneración.

- 4) Se pueden obtener más altas capacidades que en el sistema de dos camas para alta calidad de agua.
- 5) La alta calidad del afluente obtenido sólo puede lograrse en un sistema de dos camas (catión y anión) alternando una serie de camas múltiples.

La técnica de lechos mixtos ha desplazado en muchos casos a otras técnicas porque es capaz de producir una calidad de agua que sobrepasa la destilada y su operación es muy eficiente.

CONSIDERACIONES ANTES DE SELECCIONAR EL PROCESO DE INTERCAMBIO IONICO

- a) Calidad de agua requerida
- b) Conocer la cantidad de agua requerida
- c) Necesidades futuras de la planta, o cambios en la demanda de calidad del agua.
- d) Seleccionar el suministro de agua.
- e) Determinar el espacio disponible para la planta.
- f) Investigar equipos similares operando con esta calidad de agua.

Una vez obtenida esta información podemos proceder a:

- a) Seleccionar el tipo de intercambiador iónico adecuado.
- b) Estimar la capacidad del mismo.
- c) Seleccionar los procedimientos de regeneración.
- d) Calcular el volumen de resina necesaria.
- e) Calcular la cantidad de regenerantes a ser usados.
- f) Costo del equipo de operación.
- g) Calcular la inversión.

INTRODUCCION GENERAL

El presente instructivo involucra a aquellos sistemas que de alguna manera, proporcionan agua para sustraer calor en el equipo principal o auxiliar, ya sea para efecto de condensación o enfriamiento como en el condensador principal, para el primer caso, o enfriadores de aceite de lubricación, de hidrógeno, de aire, etc. para el segundo caso.

Estos sistemas se tratarán en forma separada, ya que las fuentes de suministro son diferentes, y, además, porque los sistemas de Agua de Servicios y Agua contra Incendio tienen otras funciones -- aparte de la de enfriamiento, las cuales se comprenden por el sólo nombre de ellos.

También se estudiará la relación que guardan estos sistemas entre sí, relación que es muy importante conocer tanto para operar adecuadamente en condiciones normales como en condiciones de emergencia.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS

Debido a la gran cantidad de agua para enfriamiento que requiere la unidad, es necesario proveer las aguas negras de la ciudad previo tratamiento, que a continuación se describirá de manera simplificada (se denominan aguas negras a las aguas de desecho que envían al drenaje en una ciudad o población).

La planta de tratamiento usa un proceso biológico acelerado para regenerar en parte esas aguas. Es decir, mientras que en un proceso biológico natural requeriría bastante tiempo regenerar las aguas de un río o un canal contaminado, por los muchos kilómetros que tendría que recorrer para eliminar desechos orgánicos e inorgánicos, clarificarse, etc., en la planta de tratamiento requiere menos de un día para ser regenerada y poder ser utilizada nuevamente.

DESCRIPCION DEL EQUIPO PRINCIPAL

Se cuenta con el siguiente equipo para el procesamiento del agua, el cual está referido al diagrama simplificado (fig. III.1.3) :

- Obra de toma
- Rejillas primarias
- Compuertas primarias.
- Rejillas secundarias
- Compuertas secundarias
- Cárcamo desarenador
- Bombas de agua negra cruda
- Sedimentador primario
- Despumadores
- Aereador
- Caja partidora de lodos
- Sedimentador secundario
- Caseta de sopladores
- Cárcamo de lodos activados
- Cárcamo de contacto de cloro
- Válvulas de mariposa
- Caseta clorinadora
- Bombas de agua negra tratada
- Bomba

DESCRIPCION FUNCIONAL

El agua del canal es admitida a la planta a través de dos entradas, cada una de las cuales cuenta con una rejilla (2), con separación entre barrotes de 20cm, para impedir el paso de objetos mayores a este tamaño. Enseguida se tienen compuertas (3) para regular el paso de agua a través de otro par de rejillas (4), éstas con una separación de 2.5 cm. El agua que fluye hacia el cárcamo desarenador (6), es regulada por otras compuertas (5), que en un momento dado, pueden aislar a una u otra de las rejillas secundarias (4), para su

mantenimiento.

En el cárcamo desarenador se reduce la velocidad del agua para que se facilite el depósito de arena y sólidos, eliminándolos del proceso al enviarlos al drenaje. De este cárcamo toman el agua dos bombas de agua negra cruda (7), las cuales las envían hacia el tanque de sedimentación primaria (8), en el cual por medio de mamparas, se reduce considerablemente la velocidad del agua para permitir la sedimentación por gravedad de los sólidos pesados. Este tanque tiene un sistema de rastras que, por la parte inferior, van removiendo los lodos hacia el centro del tanque de donde se envían al drenaje, continuamente, y por la parte superior, acoplado al mismo sistema de rastreo, hay un desnatador que retira, también hacia el drenaje, toda la materia que flota en la superficie (grasas, aceite, etc.).

El sedimentador primario rebosa el agua hacia los tanques despumadores (9), donde por la acción de aire, suministrado por dos sopladores (13), se forma espuma, la cual es eliminada por aspersión de agua proveniente del sedimentador secundario (12), oxigenándose además el agua.

De los tanques despumadores, el agua, con un alto contenido de oxígeno, pasa al tanque aerador (10). En esta etapa nuevamente se enriquece el agua con oxígeno del aire al ser agitada por medio de seis ventiladores, con lo que se favorece la formación de colonias de bacterias aeróbicas (precisan el oxígeno libre para sobrevivir y reproducirse,) las cuales se alimentan de materia orgánica, degradándola en una gran proporción.

Esta agua pasa al sedimentador secundario (12) donde su paso por éste es prolongado para propiciar la concentración de las colonias de bacterias, ya que al aumentar su peso, éstas se van al fondo del tanque, de donde son removidas y enviadas al cárcamo de lodos activados (14), de donde a su vez, estos lodos son bombeados a la caja partidora de lodos (11), del aerador y/o al drenaje a través de compuertas corredizas. El objeto de enviar lodos activados hacia el tanque aerador es el acelerar la formación de las colonias de bacterias

aerobias.

Hasta aquí prácticamente ha terminado el proceso biológico de eliminación de sólidos y materia orgánica. Pero el agua aún contiene gran cantidad de bacterias que, de no eliminarlas, afectará sobremanera a la madera de la torre de enfriamiento, por lo que, del sedimentador secundario el agua pasa al cárcamo de contacto de cloro (15), donde se dosifica cloro, proveniente de la caseta clorinadora (17) para eliminar dichas bacterias. Posteriores dosificaciones de cloro y ácido sulfúrico se llevan a cabo ya en la torre de enfriamiento.

En esta etapa el agua se encuentra lista para ser enviada a la torre de enfriamiento de la unidad y/o para llenado de las líneas del sistema de agua de circulación. Para ésto se cuenta con dos bombas de agua negra tratada (18), colocadas sobre el cárcamo de contacto de cloro, cada una de las cuales tiene una válvula de mariposa (16) en su descarga, y una línea de recirculación en el cabezal de descarga común en las dos bombas. Estas se operan desde el cuarto de control de la central.

Por otra parte, los lodos de sedimentación primaria, junto con los excedentes de los lodos activados, se bombean diariamente a un tanque digestor, cerrado, que no se muestra en la figura, donde la materia orgánica es digerida por la acción de las bacterias anaeróbicas (no necesitan oxígeno libre para sobrevivir y reproducirse, sino que lo obtienen a partir de la fermentación de la materia orgánica) y la transforma en compuestos más estables que son benéficos en la agricultura y jardinería. El período de digestión es de 30 a 60 días.

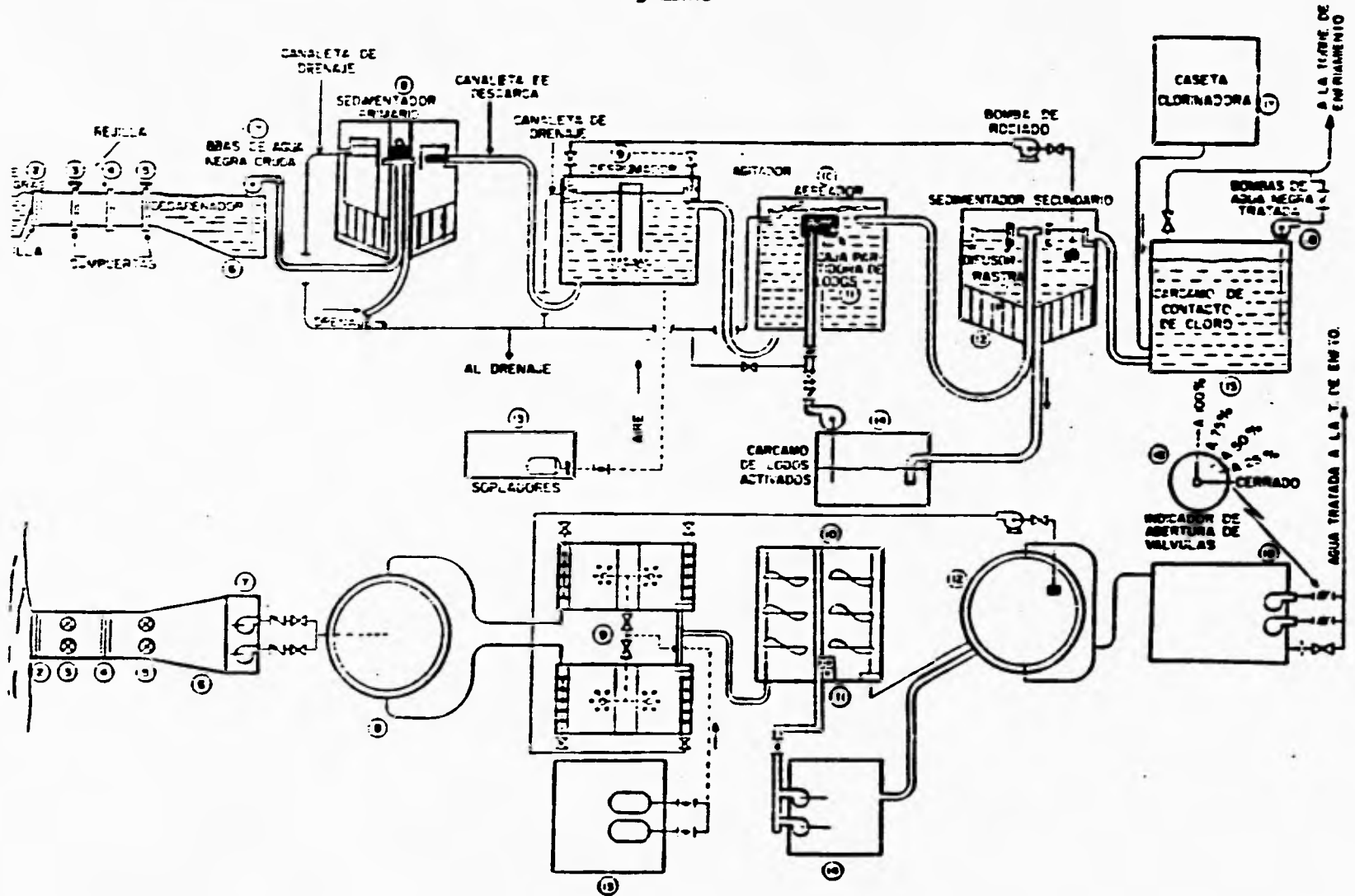
Una planta de tratamiento de aguas negras representa un ahorro considerable de agua para plantas termoeléctricas que se encuentran ubicadas en zonas alejadas de las costas, lagunas o ríos y en consecuencia, no provoca cambios en la ecología del lugar al no sustraer del subsuelo el agua que se requiere para las necesidades de enfriamiento de la planta.

Adem', los desechos del proceso de tratamiento (lodos) son aprovechados en beneficio de la agricultura, jardinería e incluso en

la construcción al utilizarlos como relleno y compactación de terrenos.

DIAGRAMA SIMPLIFICADO.

Fig. II.13



III.2

AGUA DE CIRCULACION

El sistema de agua de circulación tiene como función principal sustraer calor latente al vapor, que ya trabajó en la turbina y que es descargado al condensador, para que se condense, a temperatura constante. Además, este sistema también suministra el agua para refrigerar el equipo auxiliar de la unidad, como son: enfriadores de aceite, enfriadores de hidrógeno del generador, enfriadores de aire del excitador y otros.

El sistema de agua de circulación es un circuito cerrado y consta del siguiente equipo principal (fig. III.2.1):

- TORRE DE ENFRIAMIENTO.- En ella se efectúa el intercambio de calor entre el aire del medio ambiente y el agua de circulación, para que ésta se enfríe y pueda ser nuevamente incorporada al ciclo.
- DOS BOMBAS DE AGUA DE CIRCULACION.- Suministran la presión necesaria al agua para que pueda circular a través de los tubos del condensador, retornar y ascender a la parte superior de la torre de enfriamiento.
- CONDENSADOR PRINCIPAL.- En él se efectúa el intercambio de calor entre el agua de circulación y el vapor de escape de la turbina para extraerle a éste el calor latente y, así, pueda condensarse.

DESCRIPCION DEL EQUIPO PRINCIPAL

TORRE DE ENFRIAMIENTO.- Es una estructura de madera que tiene la función de enfriar el agua caliente proveniente del condensador, al ponerla en contacto con el aire del medio ambiente.

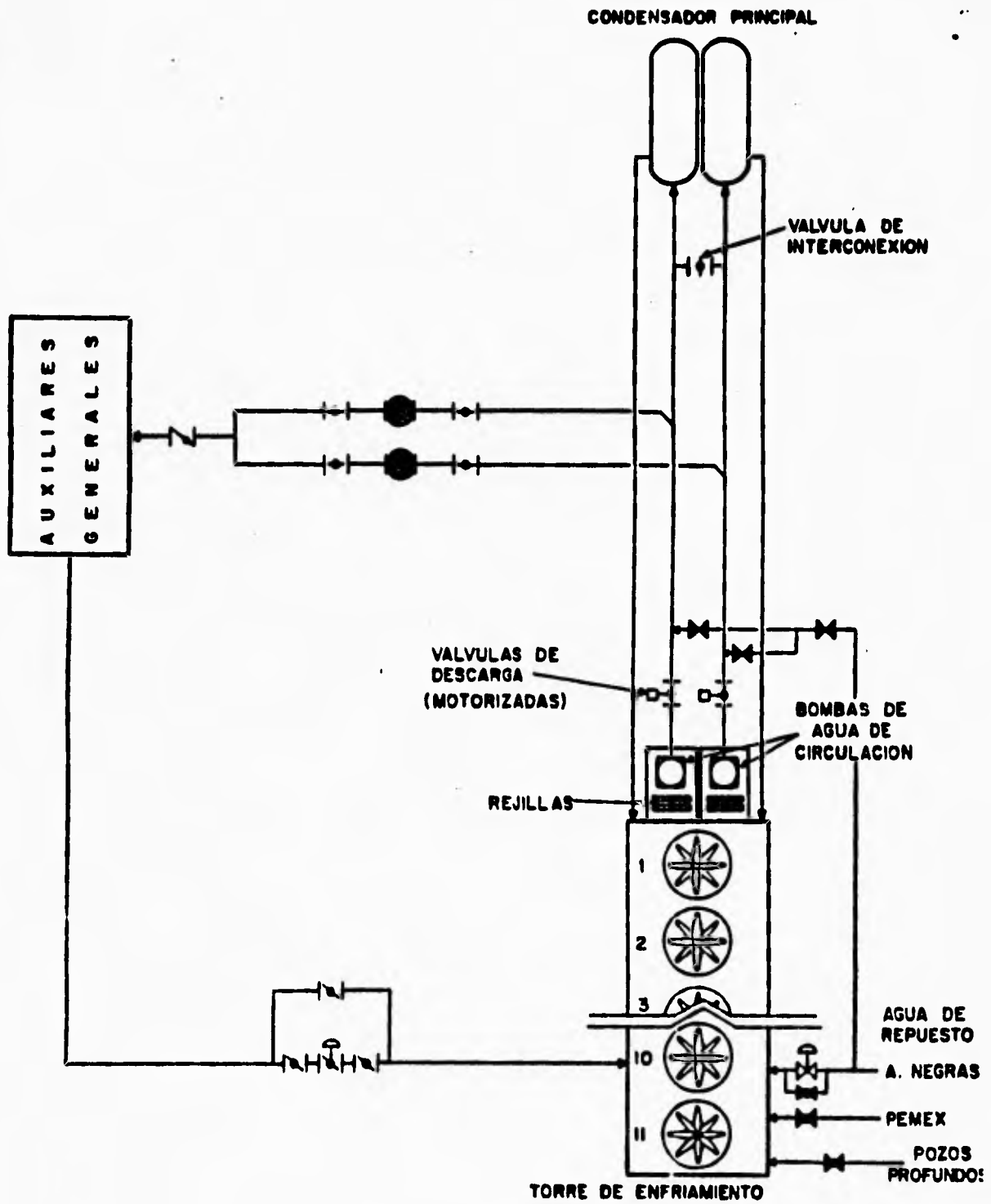


Fig. III.2.1 DIAGRAMA SIMPLIFICADO DEL SISTEMA DE AGUA DE CIRCULACION.

Cuenta con 11 ventiladores de tiro inducido, con sus respectivos conos de descarga, localizados en la parte superior, 22 charolas de distribución de agua, 2 cabezales de descarga de agua caliente en la parte superior de la torre, cada uno de ellos cuenta con 11 válvulas de compuerta, o sea, 22 en total. El agua enfriada es recuperada en una pileta, la cual tiene 5 drenes y 2 derrames.

La torre está compuesta por 11 celdas individuales, cada una de ellas está conformada por 1 ventilador de tiro inducido, 2 charolas de distribución, 2 válvulas de descarga de agua caliente, y un relleno interior.

En la Fig. (III.2.2.) se muestra la disposición del equipo mencionado.

El agua caliente de circulación proviene del condensador, llega a la torre y puede ser descargada en las 22 charolas de recepción a través de los dos cabezales y 22 válvulas de descarga, cuya apertura debe ser regulada de tal forma que el nivel de agua en todas las charolas sea el mismo, y para ello deben estar abiertas las válvulas de remate del cabezal que las del principio, para manejar un mismo flujo debido a que la presión del agua al inicio del cabezal es mayor que al final del mismo. El nivel en las charolas debe ser igual en todas ellas para obtener un enfriamiento uniforme en la torre y, con ello una alta eficiencia de operación. Las charolas tienen una gran cantidad de orificios para que el agua sea distribuida uniformemente a través de su respectiva, como se ilustra la Fig. (III.2.3.)

Cada orificio tiene una tobera de descarga para controlar el flujo hacia el relleno de la torre (la tobera se muestra también en la Fig. (III.2.3.)

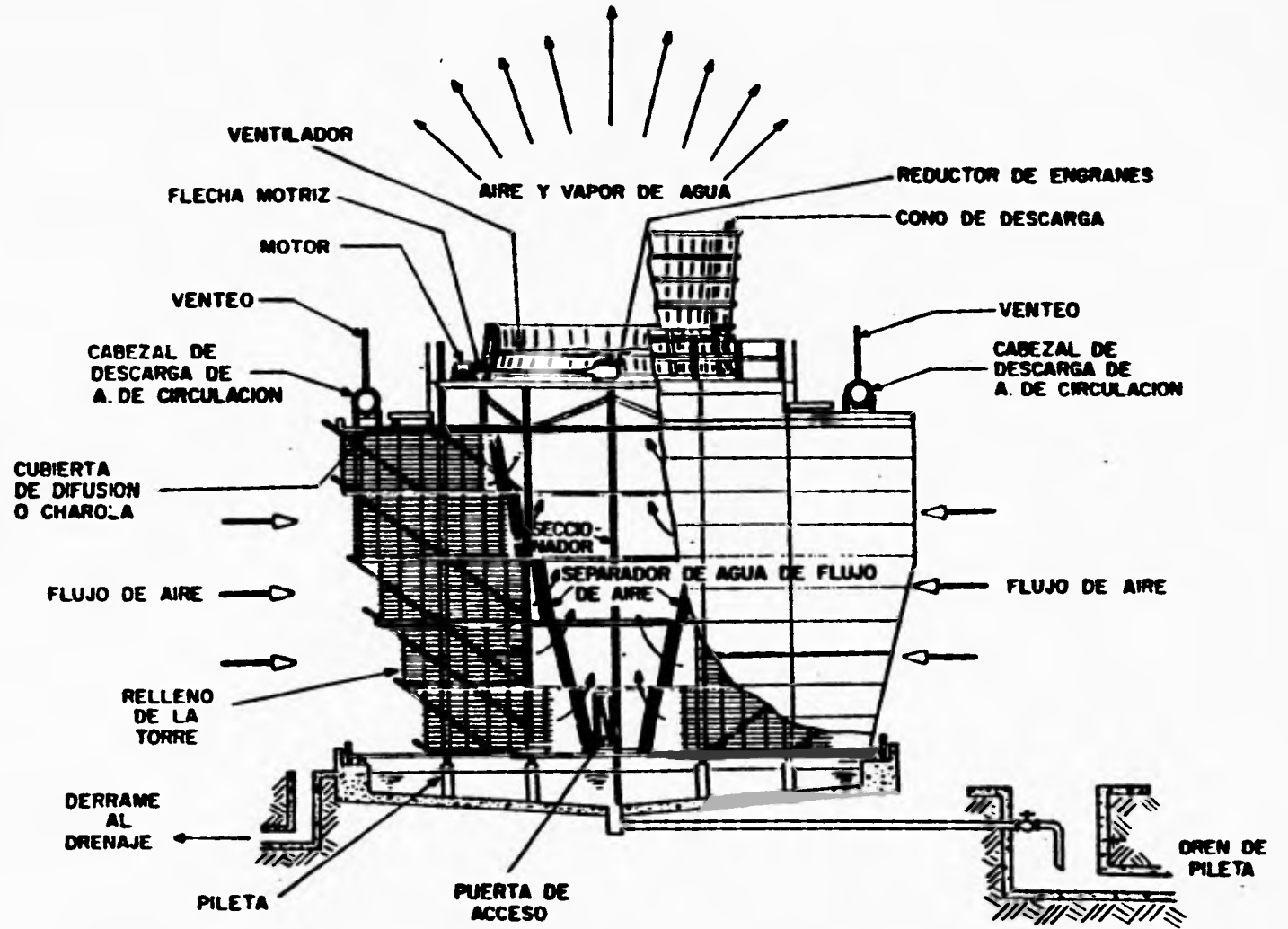
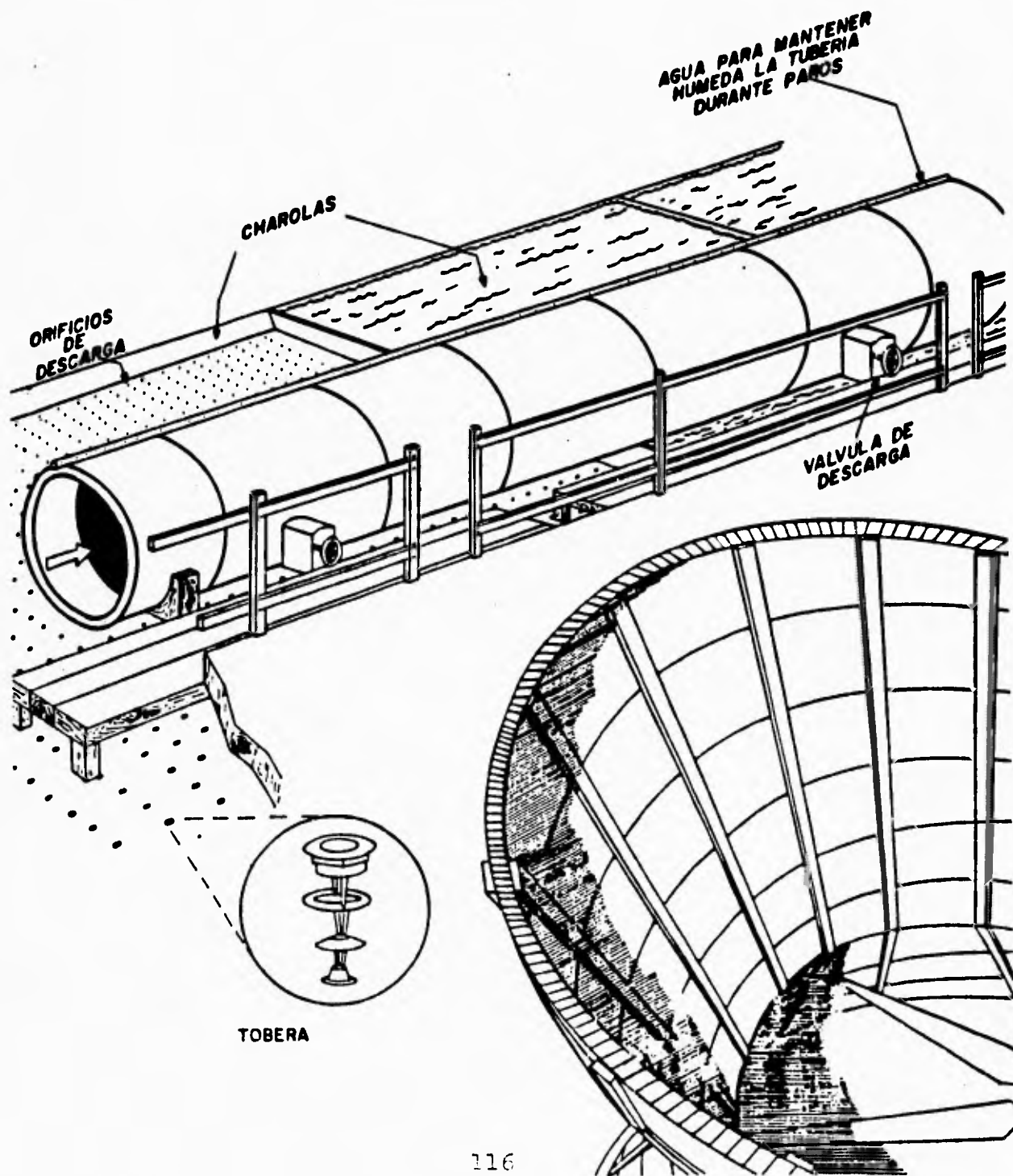


FIG. III.2.2 TORRE DE ENFRIAMIENTO.

FIG. III.2.3 VISTA SUPERIOR DE LA TORRE .



Una parte del líquido que golpea la parte superior de un larguero salpica , pero gran parte fluye por sus contornos (fig. III.2.4) creando con esto una superficie de contacto mayor y , además , al fluir hacia la parte inferior y desprenderse , a todo lo largo del larguero , forma nuevas gotas aumentando con esto el área de contacto

El proceso de intercambio de calor en la torre de enfriamiento - consiste en una transmisión de calor del agua al aire .

Dos son los factores que provocan dicha transmisión del calor : uno , es la diferencia de temperaturas entre el agua y el aire , por lo general mayor la del agua , por lo que cederá parte de su calor al aire ; y el otro factor , más determinante que el anterior , por la diferencia de presiones de vapor de agua existente entre la superficie de las partículas de agua y el que contiene el aire (humedad) .

Esa diferencia de presiones ocasiona un desplazamiento de partículas de agua por evaporación , desde la gota de agua a el aire , ya que la presión de vapor de agua de la gota es mayor que la presión de vapor que contiene el aire ,

Dicha partícula de agua , lo que provoca que descienda su temperatura y se incrementa la del aire , al absorber dicha energía que le transfiere el vapor de agua desprendido , aumentando , además su contenido de humedad (fig. III.2.5) .

A este tipo de intercambio de calor se le conoce como transferencia de calor por difusión o transferencia de masa .

Cuando el aire tiene poco contenido de humedad , la diferencia de presiones es mayor y ocasiona una mayor transmisión de calor por difusión . Y , por el contrario , cuando el aire es muy húmedo , esa diferencia de presiones es pequeña y , por lo tanto , también lo será

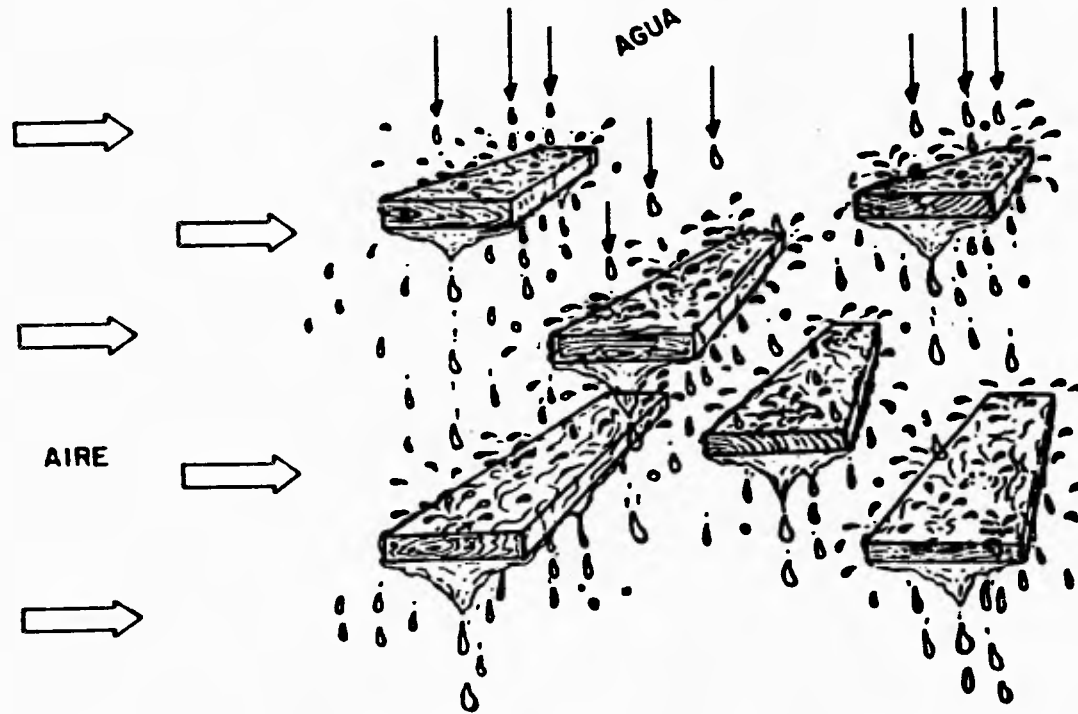
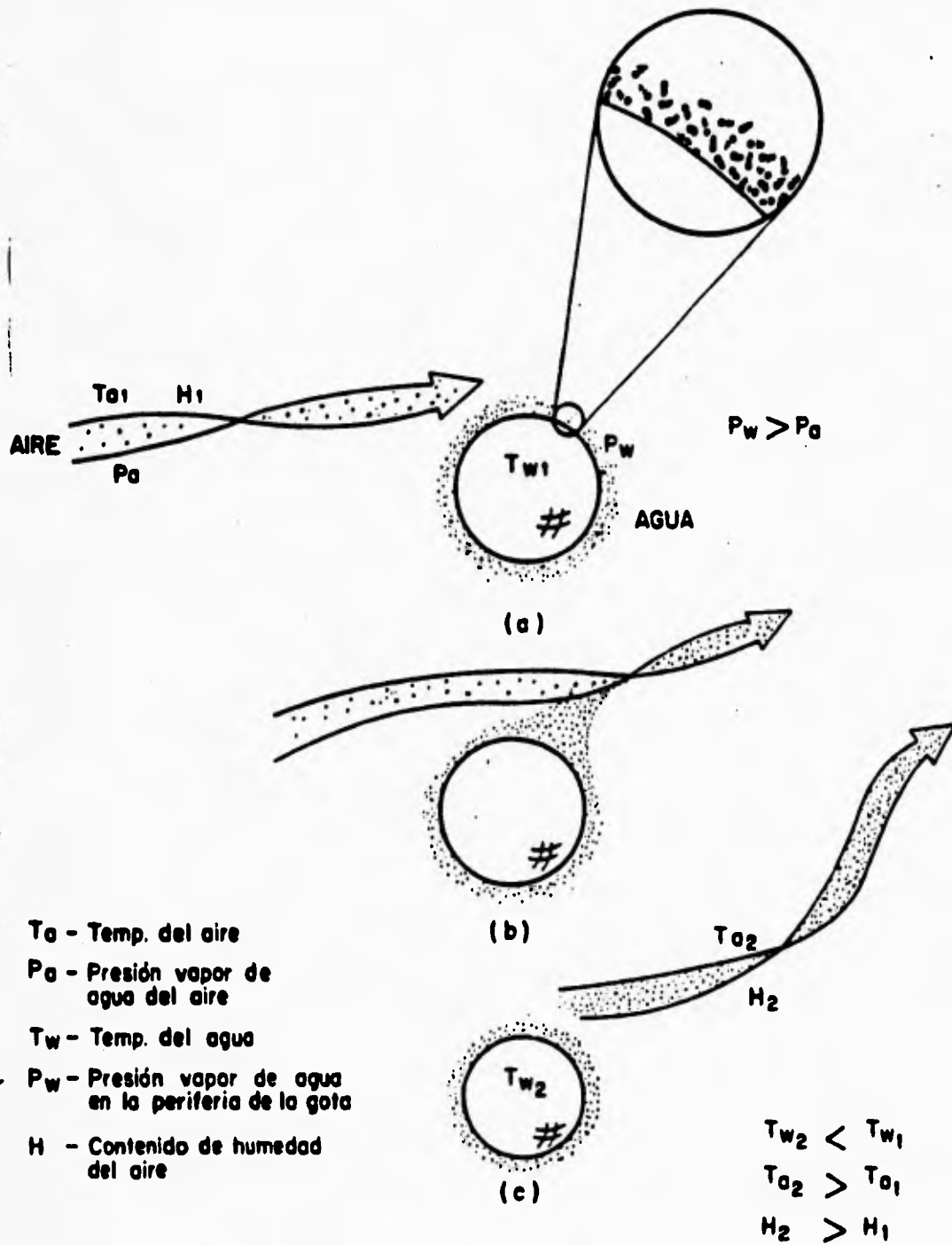


FIG. III. 2. 4. RELLENO DE LA TORRE.



INTERCAMBIO DE CALOR POR DIFUSION
 EN LA TORRE DE ENFRIAMIENTO
 Fig.III. 2. 5

la transmisión de calor , llevándose a cabo ésta principalmente por - diferencia de temperaturas entre el aire y el agua .

Los ventiladores extraen el aire húmedo del interior de la torre introduciendo al mismo tiempo aire del medio ambiente con un menor contenido de humedad estableciendo un flujo ascendente que entra en contacto con el agua que desciende . Por esto se dice que la torre es de tiro inducido y a contraflujo . A máxima carga , normalmente , es suficiente tener 10 ventiladores en servicio , quedando uno de reserva .

Los ventiladores se encuentran instalados en la parte superior de la torre . Para su movimiento , cada uno de ellos cuenta con un motor de inducción de 150 HP , que gira a 1800 r.p.m. (fig. III.2.

6) El motor mueve al ventilador , de 8.5 m de diámetro , a través de un mecanismo reductor a base de engranes , el cual reduce la velocidad del motor hasta 137 r.p.m. El motor cuenta con control local o remoto (desde el tablero de auxiliares del cuarto de control) para su arranque o paro . Cuenta , así mismo , con la protección contra sobre corriente . Se tiene , además un dispositivo de protección contra vibraciones del ventilador , el cual se encuentra montado en la base del motor , puesto que , si el ventilador tiene vibración , está se transmitará a través de la flecha hasta el motor y de éste a la base .

El reductor de engranes tiene un indicador óptico de nivel , por el que también se repone aceite para mantener un nivel normal .

El agua ya enfriada cae a la pileta de la torre donde se deposita , siendo conducida hacia los cárcamos de succión de las bombas de agua de circulación

En caso de que el nivel de agua sobrepase del normal , el agua derrama por medio de dos rebosaderos o derrames , ubicados en uno de

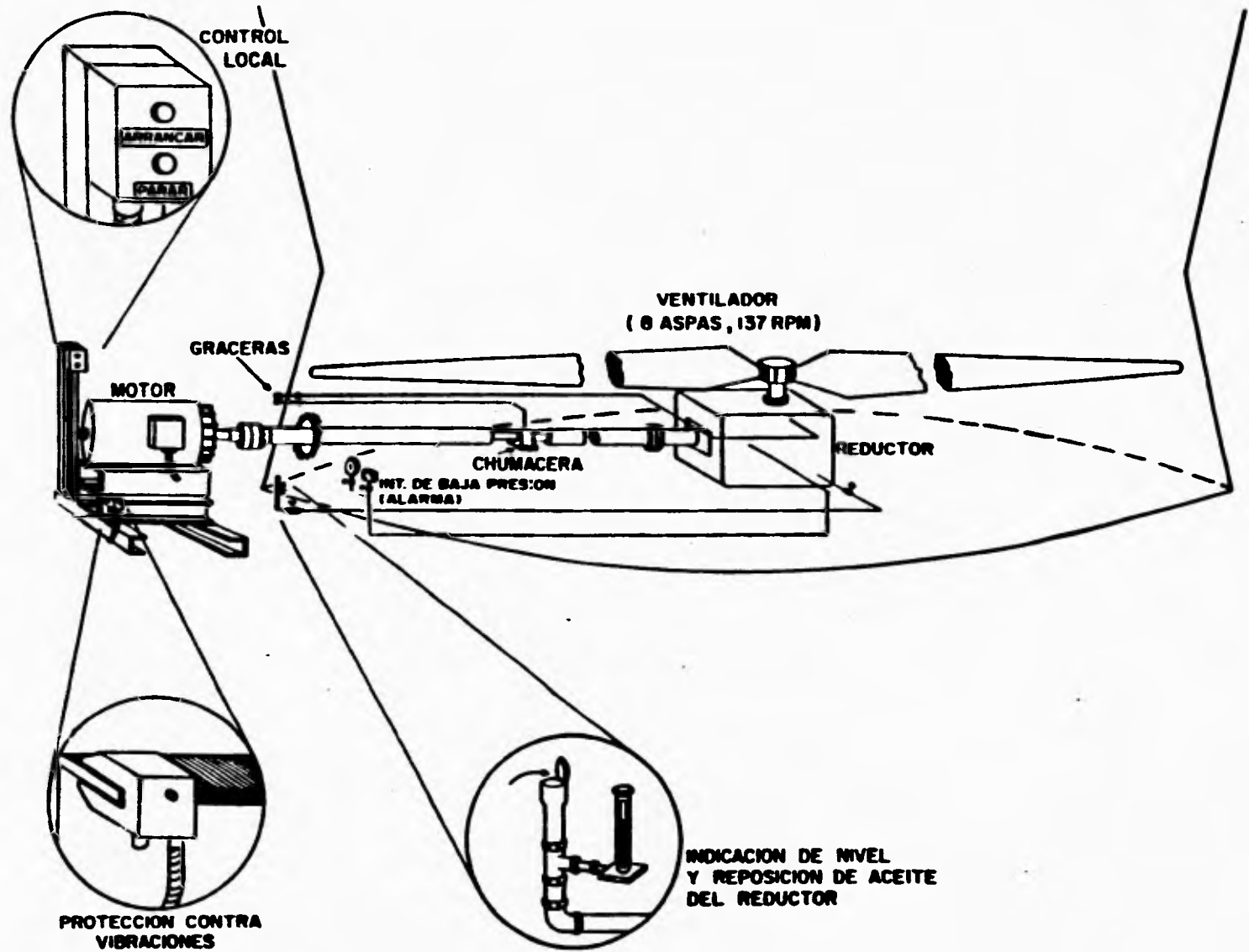


Fig. III.2.6 VENTILADOR DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO.

los costados de la pileta (fig. III.2.2 y) .

La pileta cuenta también con 5 drenes , repartidos a todo lo largo , los cuales sirven para extraer del fondo de ésta los lodos y otros sedimentos que se depositan en el fondo de ella . Debido a la localización de los drenes , la extracción de lodos se puede hacer de manera uniforme .

AGUA DE REPUESTO

Como ya se explicó, el agua al enfriarse sufre en parte una evaporación, la cual representa una fuerte pérdida de agua hacia la atmósfera. También se tienen las siguientes pérdidas de agua, en orden de importancia:

- Purga continua
- Extracciones de fondo por medio de los drenes.
- Venteo de equipo auxiliar

Todas estas pérdidas es necesario compensarlas con agua de repuesto, por lo tanto:

Agua de repuesto = Evaporación + purgas + drenes + venteos

El agua de repuesto puede ser suministrada por cualquiera de las fuentes siguientes (Fig. III.2.1).

- Agua de lluvia o superficial
- Planta de tratamiento de aguas negras
- Pozos profundos de la planta
- Agua de manantiales y ríos
- Agua de mar

Como ya se mencionó, la fuente principal de suministro de agua de repuesto es la de aguas negras. En caso de no contar con dicha fuente, se recurrirá al suministro de agua cruda proporcionada por los pozos de la planta y, sólo en casos de emergencia, alguno de los anteriormente mencionados.

BOMBAS DE AGUA DE CIRCULACION.- El sistema cuenta con dos bombas de agua de circulación de impulsor tipo propela, de flujo axial (Fig. III.2.7). Cada bomba tiene capacidad suficiente para sumin

nistrar agua para el 50% de carga, suministrando hasta 191.5 m³/min. con una presión de descarga de 245 Kpa.

La bomba tiene acoplado un motor eléctrico de inundación que opera bajo tensión de 4,160 V, las chumaceras del motor son lubricadas con aceite, cuyo nivel se puede vigilar por medio de un nivel óptico por el cual también se hace la reposición de aceite en caso de que disminuya.

El motor se disparará por la operación de cualquiera de las siguientes protecciones:

- Protección por sobrecorriente, instantánea (50) o temporizada (51), en cualquiera de sus tres fases a tierra.
- Protección por bajo voltaje (27) en el bus de 4,160V respectivo, y
- Si la válvula de descarga permanece cerrada después de 1 min. de estar en servicio la bomba.

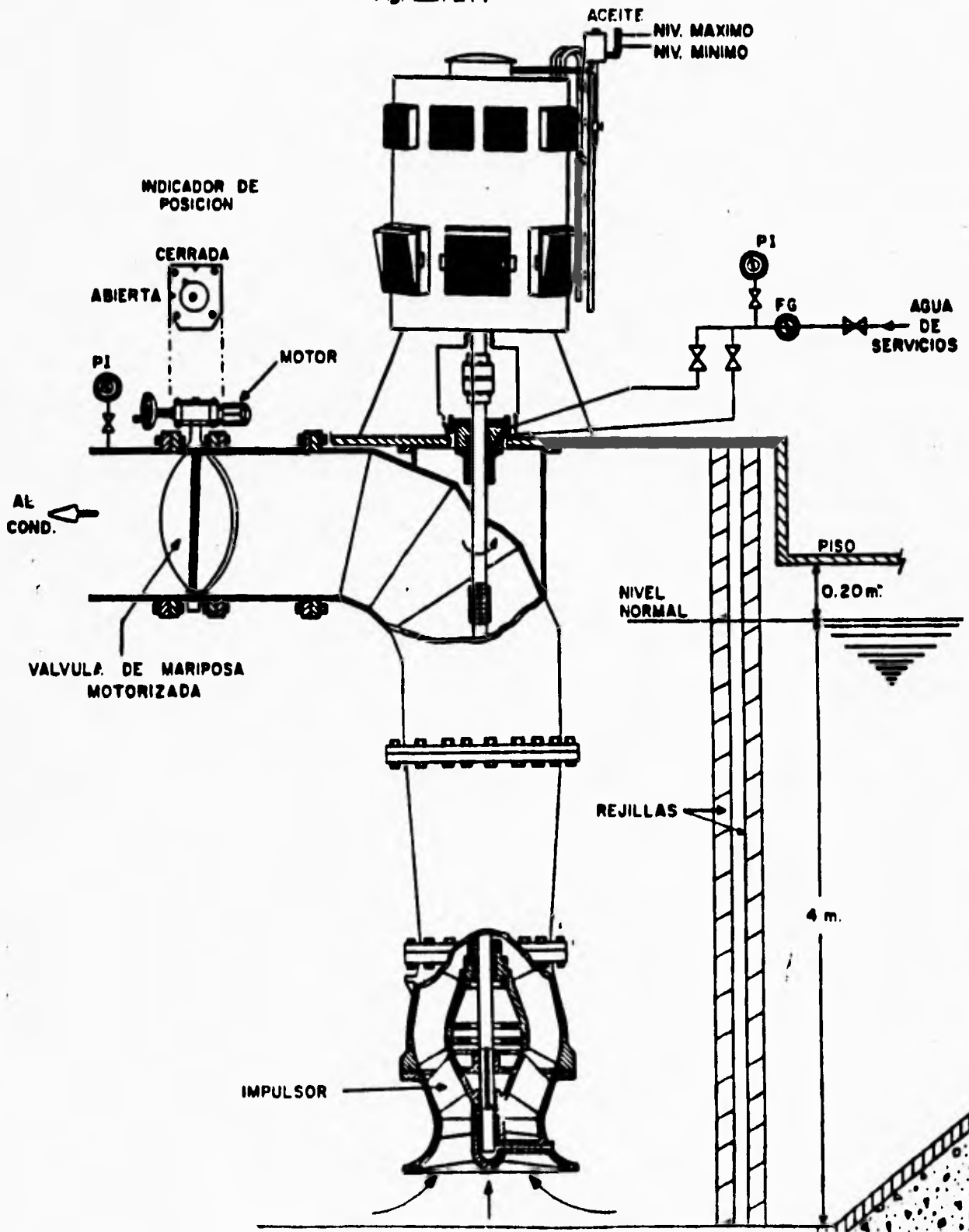
La bomba, que gira a 440 r.p.m., se utiliza agua de servicios para sello y lubricación de su estopero y cojinete, con una presión de 265 Kpa. o sea, mayor que la presión de descarga de la bomba.

En la descarga, cada bomba cuenta con una válvula de mariposa accionada por un motor eléctrico, la cual abrirá o cerrará automáticamente al arrancar o parar, respectivamente, la bomba de agua de circulación correspondiente, siempre y cuando su interruptor de control se encuentre en la posición de "ABRIR". También cuenta con un volante para ser accionada manualmente en casos de emergencia.

Tanto el motor de la bomba como el de la válvula de descarga son operados en forma remota desde el tablero de auxiliares del cuarto de control.

Las bombas succionan de cárcamos, cuya profundidad es de 4 m., a través de dos pares de rejillas (un par por cárcamo), que impiden el paso de materiales extraños, de la pileta hacia el cárcamo de succión (Fig. III.2.7). El contar con dos rejillas por cárcamo es con el objeto de poder sacar una a limpieza mientras la otra se encuentra en servicio.

BOMBA DE AGUA DE CIRCULACION
Fig. III. 2. 7



Cada cárcamo puede ser independiente uno de otro , colocando compuertas en lugar de rejillas , para fines de mantenimiento de las bombas o del cárcamo en sí .

El sistema cuenta con una línea de aguas negras para el llenado de las tuberías de agua de circulación cuando se ha vaciado el sistema , y así evitar el golpe de ariete en el condensador al arrancar -- las bombas de agua de circulación (ver fig. III.2.2) .

De cada una de las líneas de suministro de agua de circulación - el condensador , se deriva la alimentación al sistema de enfriamiento de auxiliares , el cual se describe más adelante.

Además se cuenta con una línea de interconexión, entre las líneas principales de suministro de agua de circulación del condensador, justo antes de entrar a él.

Su función es facilitar el llenado de una línea de agua de circulación cuando se encuentra en servicio la otra (Fig. III.2.8)

CONDENSADOR PRINCIPAL

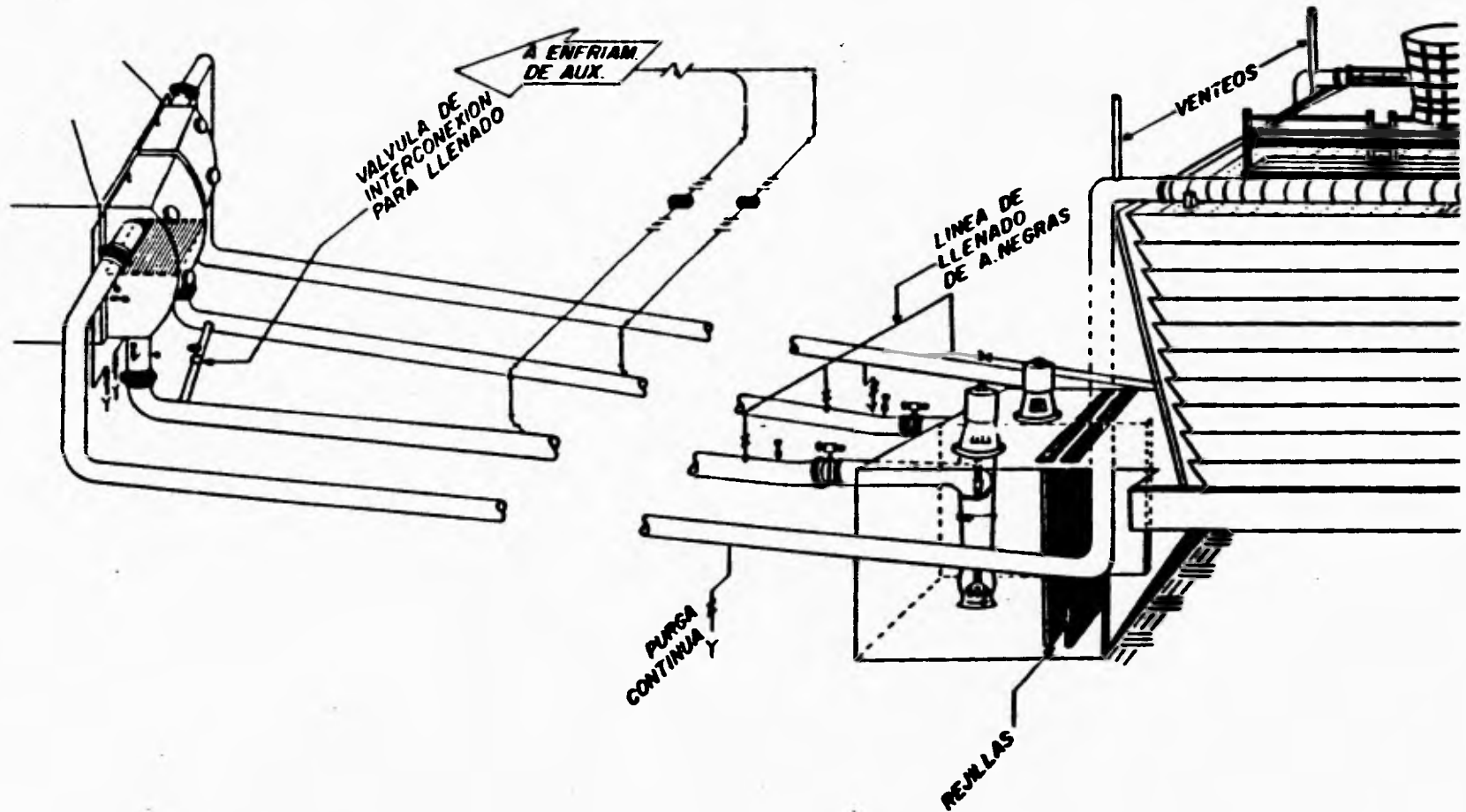
Como ya se mencionó anteriormente, en este equipo se realiza la función principal del sistema de agua de circulación, que es la de sustraer el calor latente del vapor de escape de la turbina de baja presión para que cambie de la fase de vapor a la de líquido, a la misma temperatura.

El condensador (Fig. III.2.9) , consta de dos secciones, - de dos pasos cada una, es decir, que el agua de circulación efectúa - dos veces el recorrido a través del condensador antes de retornar a la torre de enfriamiento. Es del tipo de superficie, donde el agua de - circulación no está en contacto con el vapor, sino que el intercambio de calor se lleva a cabo a través de los tubos, los cuales suman - 14,035 dando una superficie de transferencia de calor de 12.098 m².

Cada sección del condensador, por el lado de agua de circulación consta de lo siguiente:

-CAJA DE AGUA DE ENTRADA.- Por donde se suministra el agua de -

DISPOSICION GENERAL DEL SISTEMA DE AGUA DE CIRCULACION.
Fig. III. 2. 8



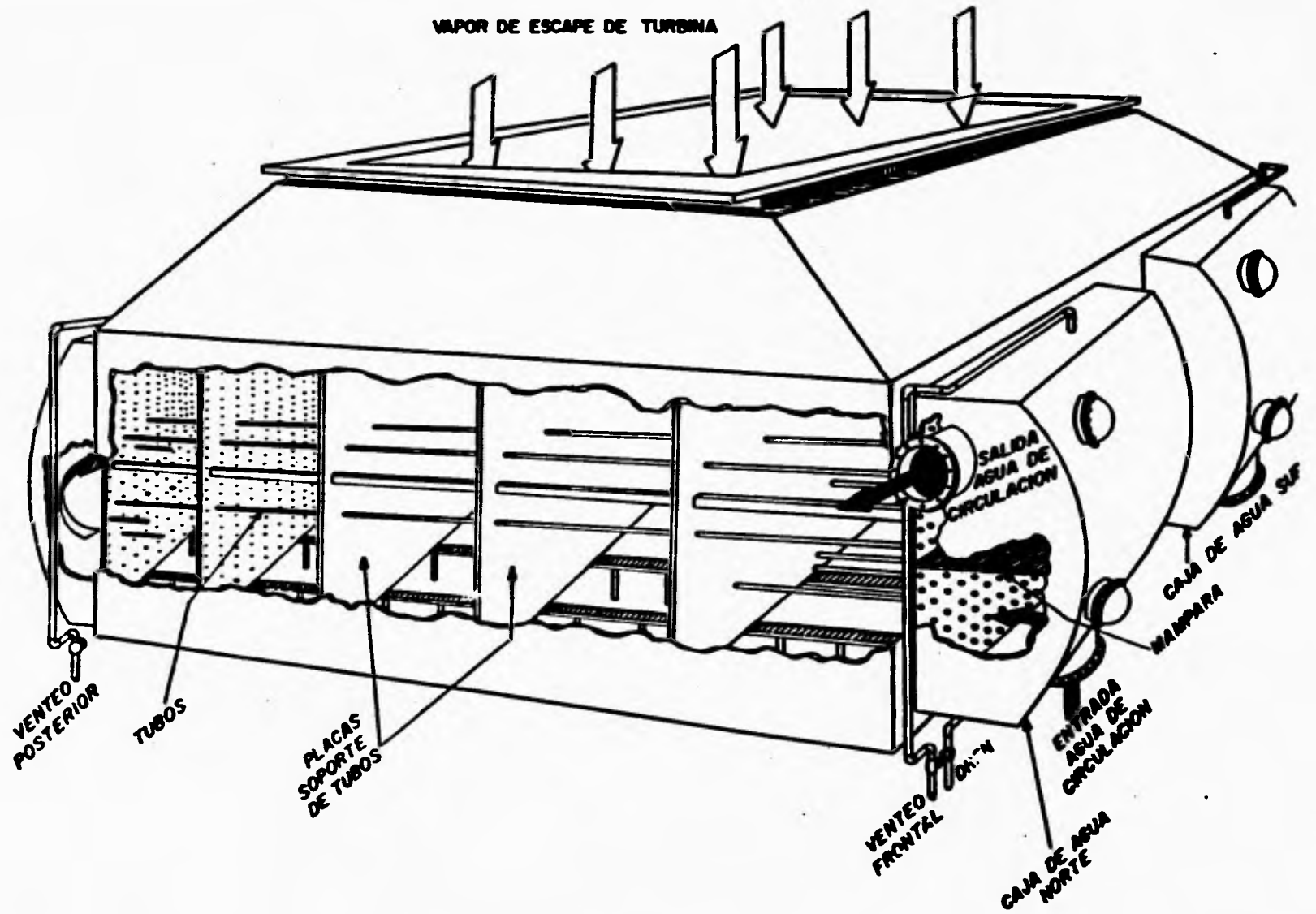


FIG. III. 2. 9 CONDENSADOR PRINCIPAL .

circulación al condensador y es repartida a los tubos del condensador de la sección inferior, o del primer paso.

- CAJA DE AGUA DE SALIDA.- Donde se colecta el agua de circulación caliente para retornar a la torre de enfriamiento.

- ENFRIADOR DE AGUA.- Sección de enfriamiento de gases no condensables donde se aumenta su densidad para facilitar su manejo por los eyectores encargados de su extracción, donde, además los gases no condensables se separan del vapor que aún va mezclado, condensándolo.

- PLACAS SOPORTE.- Soportan los tubos del condensador ya que su longitud es muy grande. (10.36 m).

- DRENES DE ENTRADA Y SALIDA.- Para vaciar las cajas de agua y para eliminar impurezas y sedimentos depositados.

- VENTEOS FRONTAL Y POSTERIOR.- Para expulsar el aire acumulado en las cajas de agua, evitando la formación de bolsas de aire que actúen como aislamiento térmico.

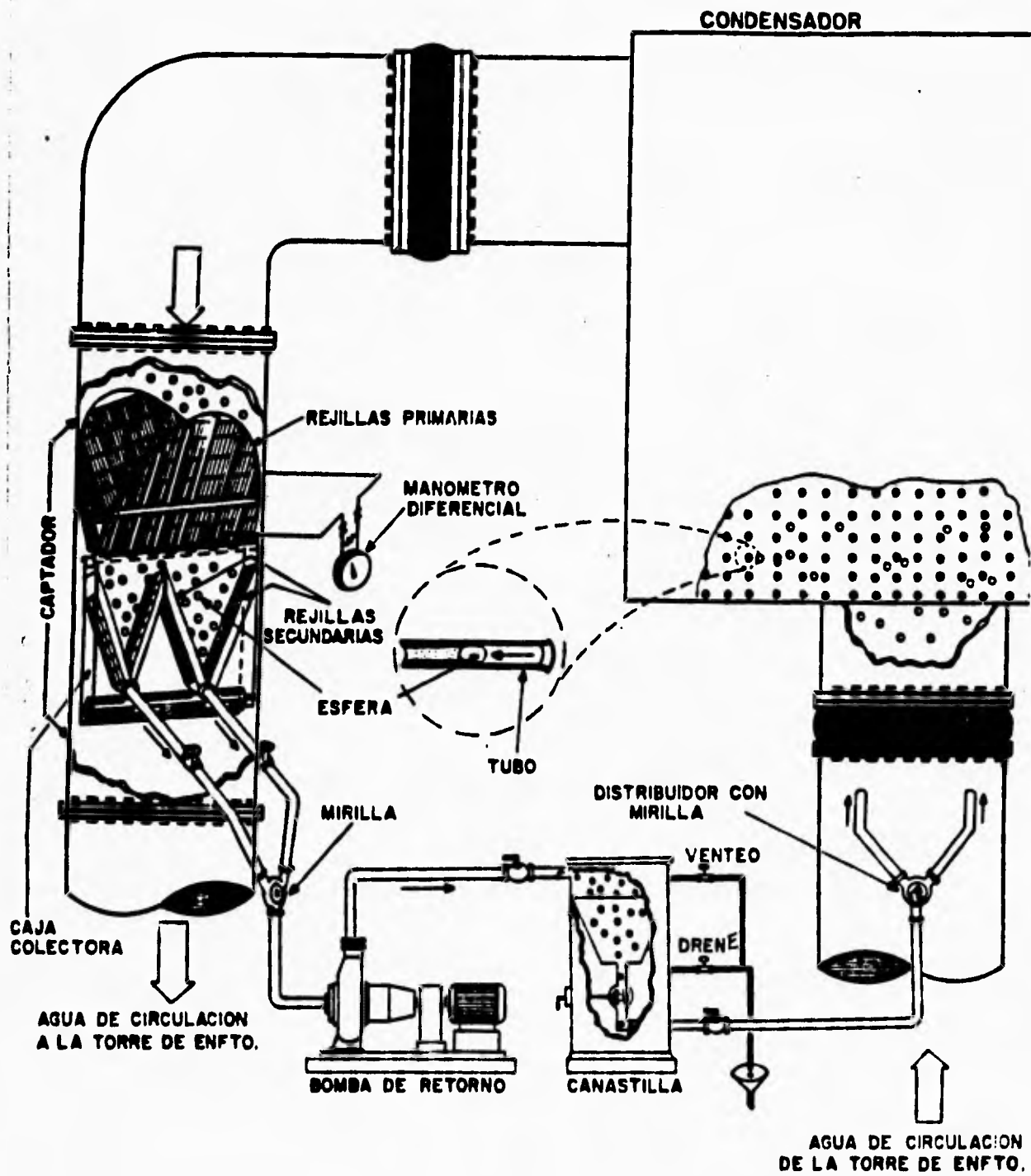
- MANOMETRO Y TRANSMISOR DE PRESION DIFERENCIAL DE LAS CAJAS DE AGUA.- Nos dá un índice del grado de suciedad de los tubos del condensador. Como máximo, son aceptables 12.4 KPa. de presión diferencial.

Se cuenta también con un sistema de autolimpieza del condensador que será descrito en forma más amplia a continuación:

SISTEMA DE AUTOLIMPIEZA DEL CONDENSADOR

Este sistema tiene por objetivo evitar o eliminar la formación de incrustaciones, debidas a depósitos de las impurezas y sales que tiene el agua de circulación, en las paredes internas de los tubos del condensador. Dichas incrustaciones disminuyen el proceso de transferencia del calor del vapor hacia el agua de circulación y, además, reducen el flujo del agua a través de los tubos, agravando el problema. Al eliminar las incrustaciones también se reduce la posibilidad de corrosión ya que la proliferación de algunos organismos (algas, hongos y bacterias) producen sustancias corrosivas que causan daños considerables al condensador.

Haciendo referencia a la (Fig. III.2.10) describiremos ---



SISTEMA DE AUTOLIMPIEZA DEL CONDENSADOR
 Fig. III. 2. 10

las partes principales y su funcionamiento. El sistema funciona, en forma general, por la acción de la limpieza que ejercen unas esferas limpiadoras (Fig. III.2.11), las cuales son de un diámetro mayor que el interior de los tubos para arrastrar todas las impurezas depositadas en ellos. Estas esferas son de goma esponjosa, que puede ser abrasiva, normal o suave. El sistema puede utilizar normales o abrasivas; éstas últimas se utilizan para desprender depósitos más duros pero pueden erosionar las paredes internas de los tubos, por lo que su uso queda supeditado a decisión del departamento químico.

El captador, localizado en la tubería de descarga del condensador se encarga de retener las esferas limpiadoras para evitar que éstas viajen hasta la torre de enfriamiento, donde podrían obstruir las charolas y, además hacer un recorrido innecesario. Dicho captador consta entre otras cosas, de rejillas primarias y secundarias y una caja colectora.

De la caja colectora, las esferas son succionadas, con agua, hacia la bomba de retorno, pasando a través de una mirilla.

Dicha bomba descarga las esferas y agua hacia la canastilla donde en un momento dado, pueden ser revisadas, cortadas las esferas o también ser repuestas. De la canastilla las esferas pasan nuevamente al sistema de agua de circulación a través de un distribuidor con mirilla donde se reparten equitativamente las esferas hacia la caja de agua de entrada.

Se tiene un manómetro de presión diferencial a la altura de las rejillas primarias para medir la caída de la presión a través de ellas que es un índice del grado de ensuciamiento que tienen. Cuando alcanzan 300 mm. de H₂ (2.94 Kpa) se debe efectuar un lavado de las rejillas (Fig. III.2.10)

CONTROL QUIMICO

- CONTROL DE DEPOSITOS.- El agua al evaporarse lo hace en forma pura, de manera que las sales que contiene (bicarbonato de calcio y magnesio, y en menor grado, el sulfato de calcio) permanecen en el agua que no se evapora y que al enfriarse, se depositan en la pileta

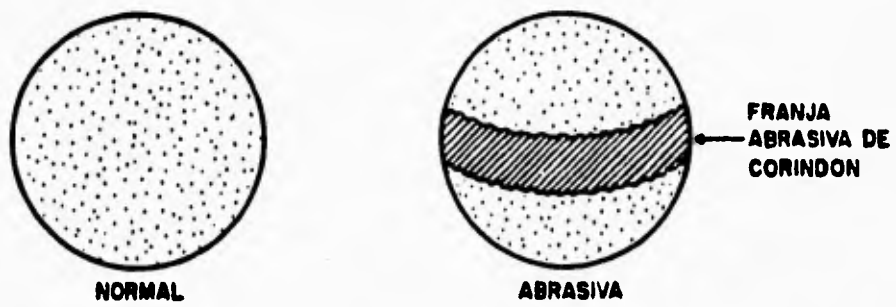


FIG. III. 2.11 ESFERAS LIMPIADORAS

Dicho drenaje es enviado de regreso a la planta de tratamiento de aguas negras. Del departamento químico, en base a los análisis periódicos que hace del agua, indica el grado de apertura de la purga continua.

El sistema de dosificación de ácido sulfúrico y la purga continua se muestran en la (Fig. III.2.12).

- CONTROL MICROBIOLOGICO.- Los microorganismos (bacterias, hongos, algas) provocan serios problemas como son:

- Daños a la madera de la torre.
- Pérdidas en la transferencia de calor por incrustación.
- Corrosión en tuberías.

- DAÑOS A LA MADERA.- Algunos microorganismos deterioran la madera utilizando su celulosa como fuente de carbón para su crecimiento y desarrollo, volviéndose obscura la madera y perdiendo fuerza.

- PERDIDAS POR TRANSFERENCIA DE CALOR.- Principalmente por formación de colonias de bacterias en el condensador, las cuales poseen superficies adhesivas.

- CORROSION EN TUBERIAS.- Esta corrosión puede ser ocasionada por algas y bacterias, al producir sustancias corrosivas que afectan las partes metálicas del sistema.

Para el control biológico se usan los biocidas y/o los agentes biotáticos. Los primeros matan los organismos; los segundos inhiben su crecimiento y reproducción.

Debido al costo relativamente bajo del cloro (biocida más común) normalmente se utiliza éste para el control biológico, ya que es tóxico a la mayoría de los microorganismos.

La dosificación del cloro, controlada por el departamento químico debe ser adecuada, ya que un residual de cloro (cloro libre remanente-después que se ha satisfecho la demanda de cloro) excesivo en el retorno puede dañar la madera de la torre y, por el contrario, una dosis limitada propiciaría una adaptación de los microorganismos, por lo cual se hace periódicamente dosificaciones intensivas (Fig. III.2.12).

DESCRIPCION FUNCIONAL

Las bombas de agua de circulación el agua de su cárcamo respectivo, el cual debe tener 4 m. de nivel, desde el fondo, o 45 m. abajo del piso (Fig. III.2.13).

Es importante mantener el nivel ya que de descender demasiado, no solo se puede perder la carga de succión sino también tener problemas de pérdida de sumergencia (distancia requerida de la parte inferior de la campana de succión, a la línea de nivel mínimo en el cárcamo (Fig. III.2.14).

Está pérdida puede provocar la formación de vórtices o remolinos en la superficie del líquido, las cuales pueden dirigir su trayectoria hacia el ojo de succión del impulsor, permitiendo la entrada de aire a la bomba, la cual causaría daños al impulsor similares a los causados por cavitación (Fig. III.2.15).

Las bombas descargan el agua de circulación a través de las válvulas motorizadas de descarga para enviarla hacia el condensador, por líneas independientes. De cada una de las líneas, antes de llegar al condensador, se toma agua para alimentar el sistema de enfriamiento de auxiliares.

También justo antes de entrar al condensador, ambas líneas de suministro de agua de circulación se interconectan por medio de una línea y una válvula de mariposa, de accionamiento manual, la cual, como ya se mencionó se utiliza únicamente para llenado de una sección del sistema cuando ya se encuentra en servicio la otra. El agua, al entrar a las cajas de agua del condensador, por la parte inferior, se reparte hacia todos los tubos del condensador.

El vapor que desciende de la turbina cede su calor latente al tubo y éste, a su vez lo cede al agua de circulación, la cual aumenta su temperatura gradualmente al circular a lo largo del condensador, para salir de éste por la parte superior de la caja de agua de salida y retornar a la torre de enfriamiento por la parte superior para que al descender a la pileta se efectuó el intercambio de calor con el aire como ya se explicó, enfriándose quedando lista el agua para ser envia-

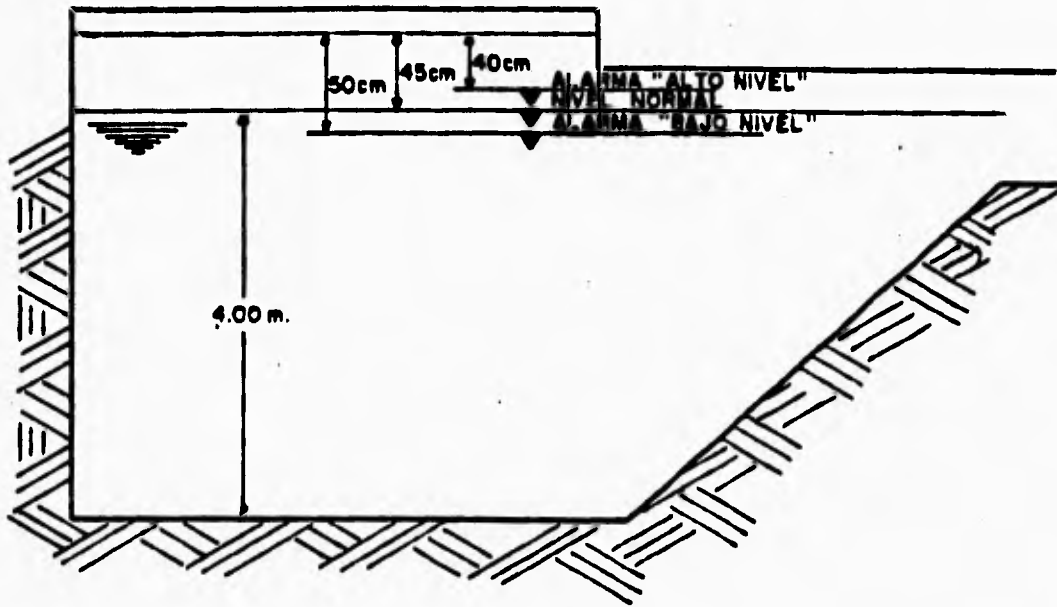


Fig. II. 2.13 CARCAMO DE SUCCION

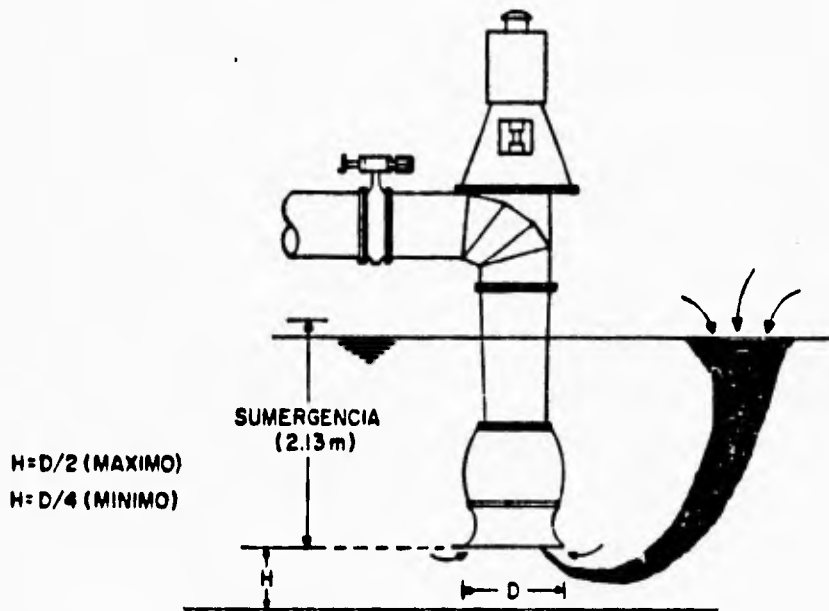


Fig. III. 2.14 VORTICES AL OPERAR ABAJO DEL NIVEL MINIMO DE SUMERGENCIA.

de nuevamente al condensador.

Al comienzo de los cabezales de descarga a la torre de enfriamiento, se cuenta con sendas líneas de venteo, sin válvulas de bloqueo. Estos venteos tienen la finalidad de romper el vacío que se pueda formar en los cabezales en el caso de que una o ambas bombas de agua de circulación se disparasen con su válvula de descarga aún abierta, de ocurrir esto, el agua de los cabezales tiende a retornar, formando un vacío en ellas, la cual puede ocasionar que la sección de tubería de madera se contraiga deformándose o destruyéndose, lo cual se evita al entrar el aire por el venteo, rompiendo el vacío en el cabezal.

Se debe evitar utilizar más ventiladores de los necesarios con el fin de disminuir las pérdidas de agua por arrastre, tiempo de funcionamiento y consumo adicional de energía. No obstante, debe considerarse, que una alta temperatura en el agua de circulación, no solo afectará el vacío del condensador, sino que también repercutirá en el calentamiento del equipo de refrigeración por este medio.

Cuando se pongan en servicio ventiladores se debe buscar que queden distribuidos adecuadamente a lo largo de la torre, para que el enfriamiento del agua sea más uniforme y eficiente. Además, es necesario evitar poner en servicio varios ventiladores a la vez, sino hasta que pase el transitorio de arranque de cada uno de ellos, pues de lo contrario, puede sobrecargarse el bus y dispararse los interruptores que lo alimentan.

El sistema de AGUA DE ENFRIAMIENTO DE AUXILIARES aunque se le considera una derivación del SISTEMA DE AGUA DE CIRCULACION, ya que depende casi totalmente de él, no desmerece en importancia, porque de haber una falla o un problema en aquel, repercutirá en todos los equipos que son enfriados por dicho sistema, con consecuencias que pueden ser graves.

Por ello es importante conocer lo mejor posible, este sistema, así como la ubicación del equipo, ya que en caso de emergencia eso nos permitirá actuar con rapidez y eficiencia para controlar o solucionar el problema.

DESCRIPCION DEL EQUIPO PRINCIPAL

El sistema de agua de enfriamiento del equipo auxiliar consta de los siguientes componentes:

- Filtros
- Válvulas de mariposa (entrada y salida en filtros)
- Válvulas de retención en el suministro.
- Cuadro de control de retorno de agua a la pileta de la torre.

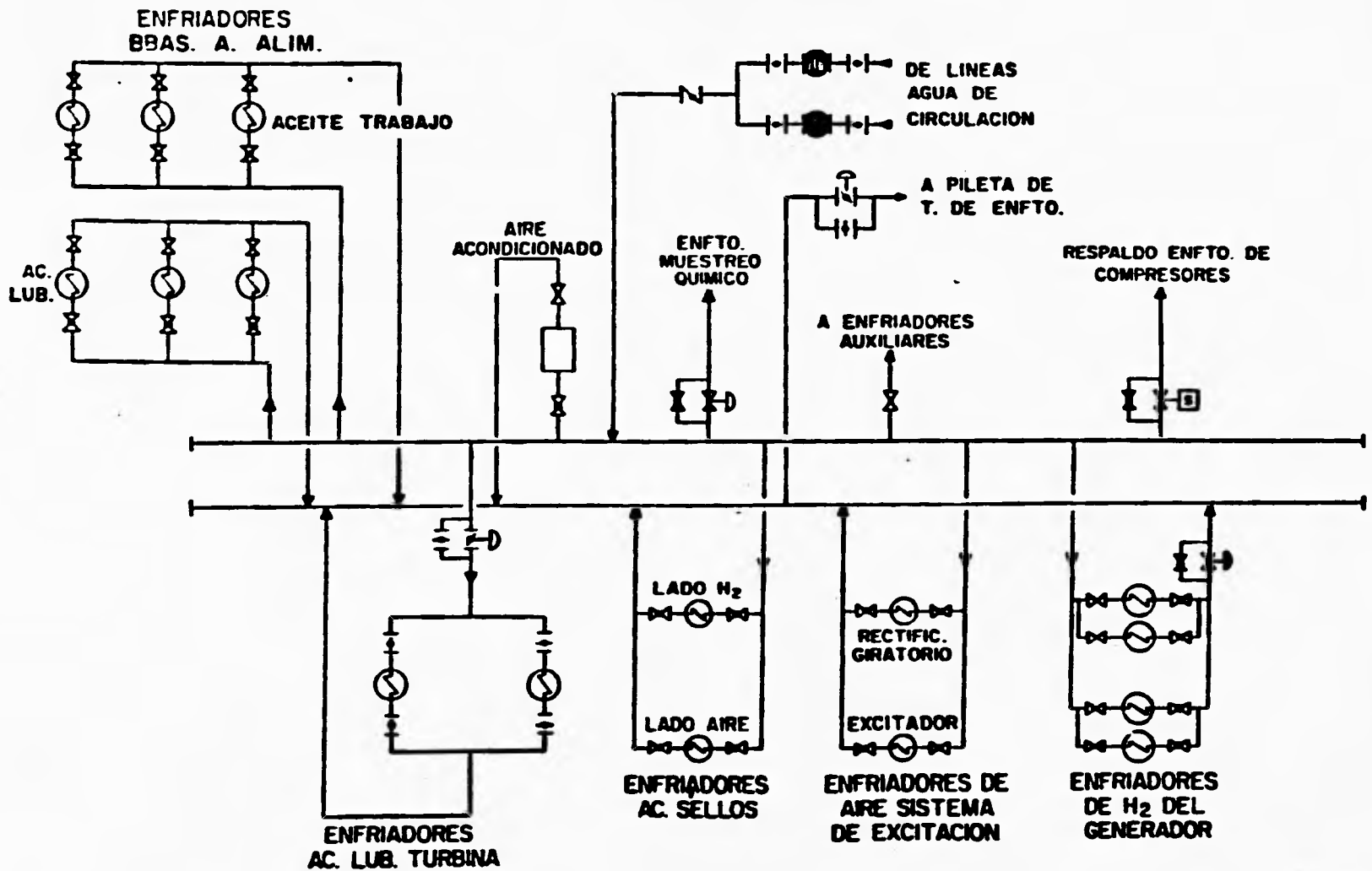
FILTROS.- Evitan el paso de materias extrañas a los enfriadores de los equipos auxiliares, impidiendo que se tapen sus tubos y pierdan eficiencia dichos enfriadores, lo que ocasionaría calentamiento peligroso en los equipos.

Se encuentran colocados, como lo muestra la Fig. (III.3.1) en las líneas de suministro de agua al sistema, entre las válvulas de mariposa.

Se cuenta con manómetros, antes y después de los filtros, para verificar la caída de la presión que hay en ellos, que es un índice del grado de ensuciamiento que tienen. Los valores normales de operación son aproximadamente los siguientes:

- Presión antes del filtro de 206 Kpa.
- Presión después del filtro 186 Kpa.

Fig. III.3.1. DIAGRAMA SIMPLIFICADO DEL SISTEMA AGUA DE ENFRIAMIENTO.



139

- Presión diferencial aceptable 20 Kpa.

Cuando la presión diferencial exceda dicho valor, los filtros - deberán retrolavarse, aunque se recomienda retrolavarlos, para mayor seguridad, uno por cada turno (Fig. III.3.2).

VALVULAS DE MARIPOSA.- Sirven para controlar el paso del agua al sistema. Son del tipo de lenteja y tienen las indicaciones siguientes, como se muestra en la (Fig. III.3.3).

VALVULA DE RETENCION EN EL SUMINISTRO.- Evita que el cabezal y el sistema de enfriamiento en general, se descargue cuando las bombas de agua de circulación salgan de servicio.

CUADRO DE CONTROL DE RETORNO.- El agua utilizada en el enfriamiento de quipos auxiliares, retorna directamente a la pileta de la torre de enfriamiento a través de una válvula de control de presión, la cual mantiene una presión de aproximadamente 69 Kpa. en el cabezal colector. (Fig. III.3.4).

La presurización de dicho cabezal supone una disminución de caudal en los enfriadores de equipo auxiliar, por lo que dicho aumento deberá evitarse con la correcta operación de la válvula controladora o con su válvula de desvío. Si la presión se incrementa operará una alarma en el cuarto de control.

Este sistema suministra agua principalmente a los siguientes enfriadores:

- Aceite de lubricación y trabajo de bombas agua alimentación.
- Aceite de lubricación de turbina.
- Hidrógeno del generador.
- Aire del excitador y rectificador giratorio.
- Aceite de sellos.
- Enfriadores auxiliares de agua de servicios para enfriamiento de bombas, de circulación forzada y precalentadores regenerativos.

Estos equipos serán descritos con más profundidad cuando se vea el sistema correspondiente.

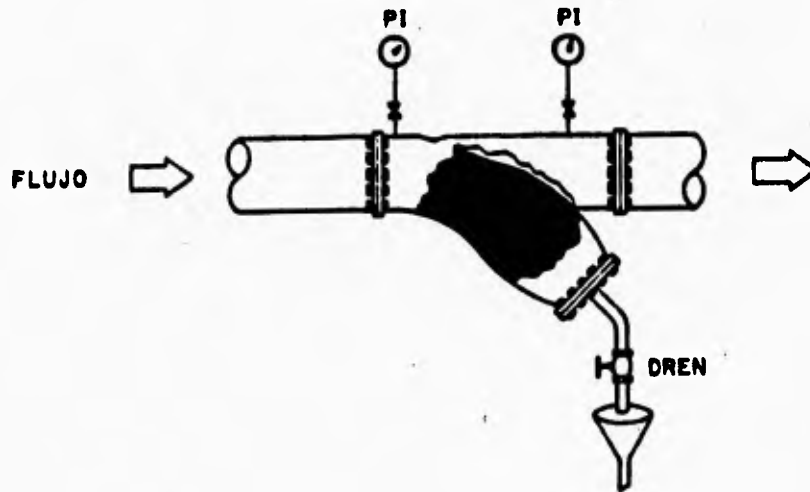


FIG. III. 3.2 FILTROS.

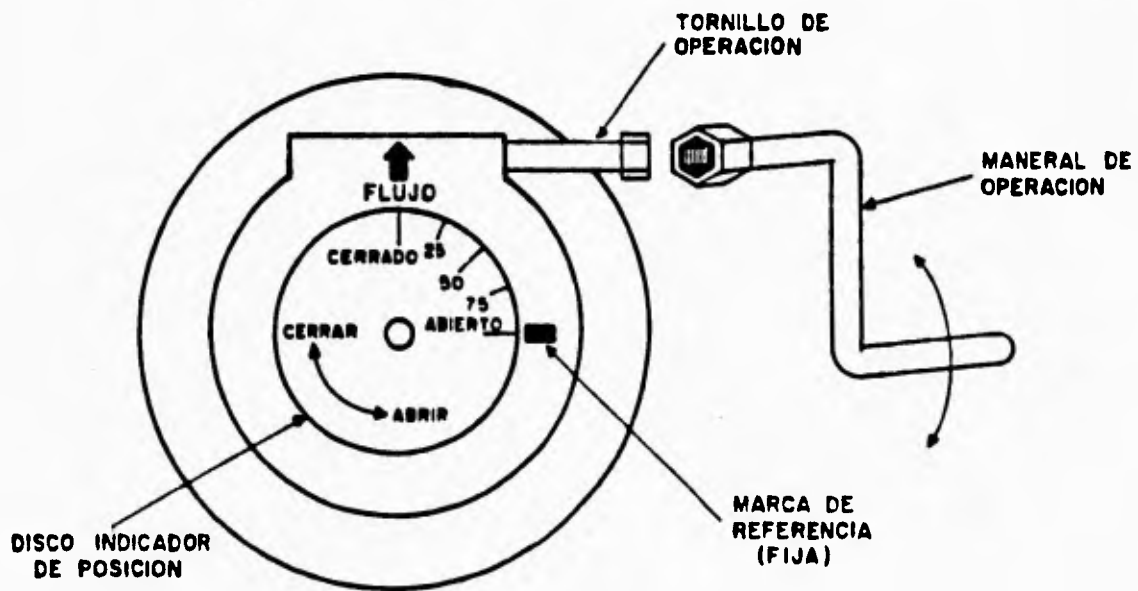


FIG. III. 3.3 VISTA SUPERIOR VALVULA DE MARIPOSA.

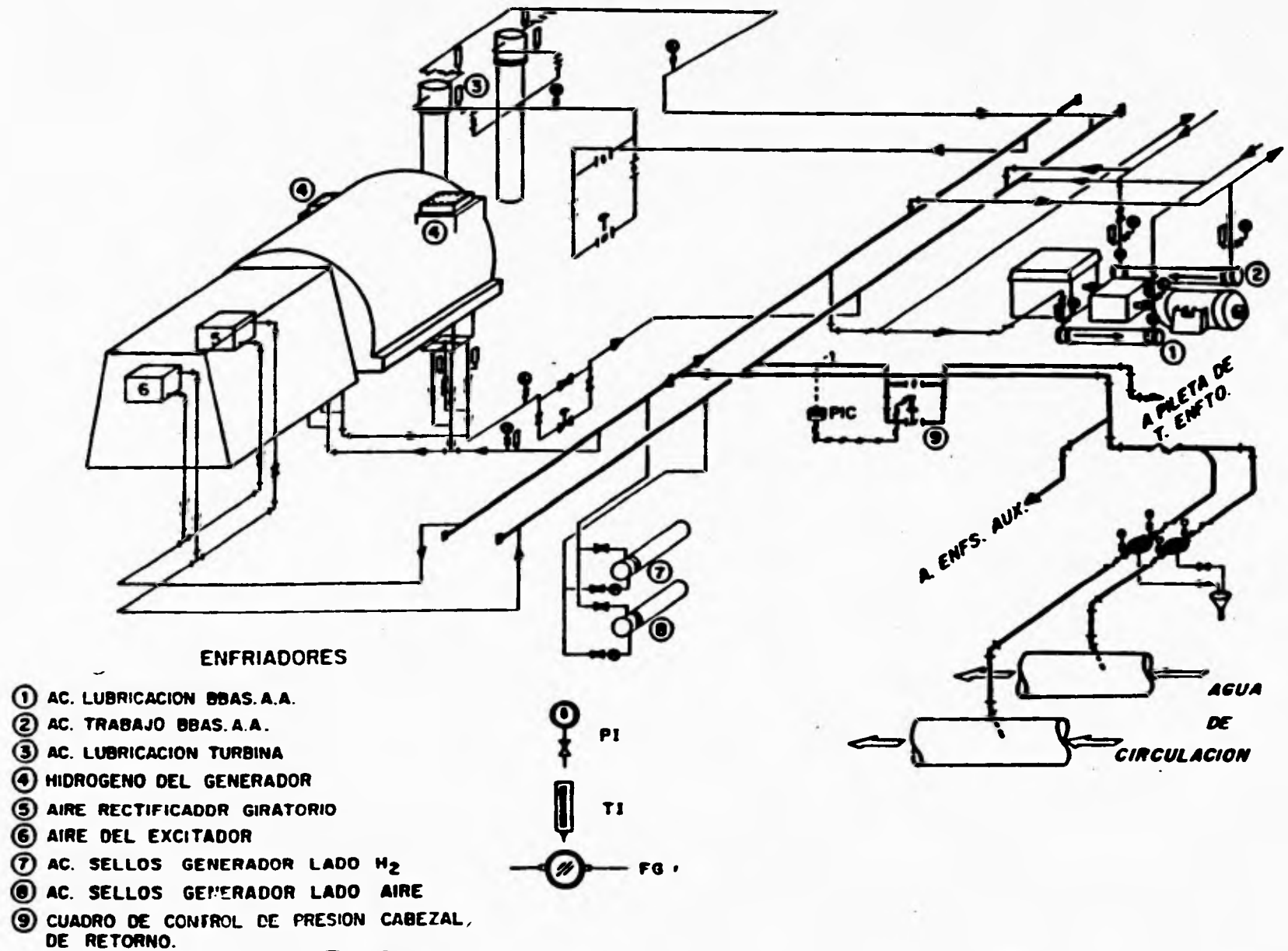


Fig III.3.4 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE AUXILIARES

DESCRIPCION FUNCIONAL.

De las líneas principales de agua de circulación se toma el suministro de agua para enfriamiento de auxiliares a través de las válvulas de mariposa y los filtros. En los filtros, como ya se mencionó, la caída de presión no debe exceder de 20 Kpa.

Después de los filtros, ambas líneas se unen y pasan a través de la válvula de retención para alimentar al cabezal de agua de enfriamiento, de donde se distribuye a los diferentes enfriadores del equipo auxiliar.

Ya que se realizó su función de enfriamiento, el agua se colecta en un cabezal de retorno, de donde se regresa directamente a la pileta de la torre a través del cuadro de control de presión que mantiene 60 Kpa. en dicho cabezal.

Normalmente se tiene ambas líneas de suministro de agua de enfriamiento en servicio para prevenir, que , en caso de falla de una bomba de circulación, el sistema se vaya a quedar sin alimentación si ésta es tomada de la línea que quedó fuera, y tenga repercusiones graves de calentamiento el equipo mientras se pone en servicio la otra alimentación.

Esto trae como desventaja que ambos filtros pudiesen ensuciarse al mismo tiempo, teniendo que retrolavar uno de ellos, con la consecuente disminución de flujo del sistema; de ahí la importancia de la supervisión continua de los filtros.

Estos sistemas se tratan en forma conjunta no solo por que tienen un suministro común de agua sino porque, como se verá más adelante guardan entre sí una relación muy importante como son de enfriamiento y para combatir incendios, en caso de que el sistema, que normalmente proporciona tal servicio falle. O sea que en un momento dado ambos sistemas se respaldan.

Resulta obvio señalar la importancia que tiene el SISTEMA DE AGUA CONTRA INCENDIO, pero el SISTEMA DE AGUA DE SERVICIO, también es importante porque además de suministrar agua para la planta desmineralizadora y otros servicios en general, también proporciona agua para enfriamiento de cierto equipo vital para el funcionamiento de la unidad y se utiliza, como se mencionó anteriormente, como respaldo del SISTEMA CONTRA INCENDIO.

Por lo anterior se desprende que solo no solamente es útil sino necesario conocer mejor los sistemas para, en situaciones anormales solucionarlas con eficiencia y rapidez, evitando cometer errores que no solamente pueden ser costosos sino poner en peligro la integridad física de las personas.

DESCRIPCION DEL EQUIPO PRINCIPAL DEL SISTEMA DE AGUA DE SERVICIOS

El sistema de agua de servicios, se compone, principalmente del siguiente equipo (Fig. III.4.I)

- Tanque de agua cruda
- Bombas de agua de servicios
- Sistema de automatismo de las bombas
- Enfriadores de bombas de circulación forzada Norte y Sur
- Enfriadores de aceite de lubricación de precalentadores regenerativos Norte y Sur.
- Enfriamiento de compresores.

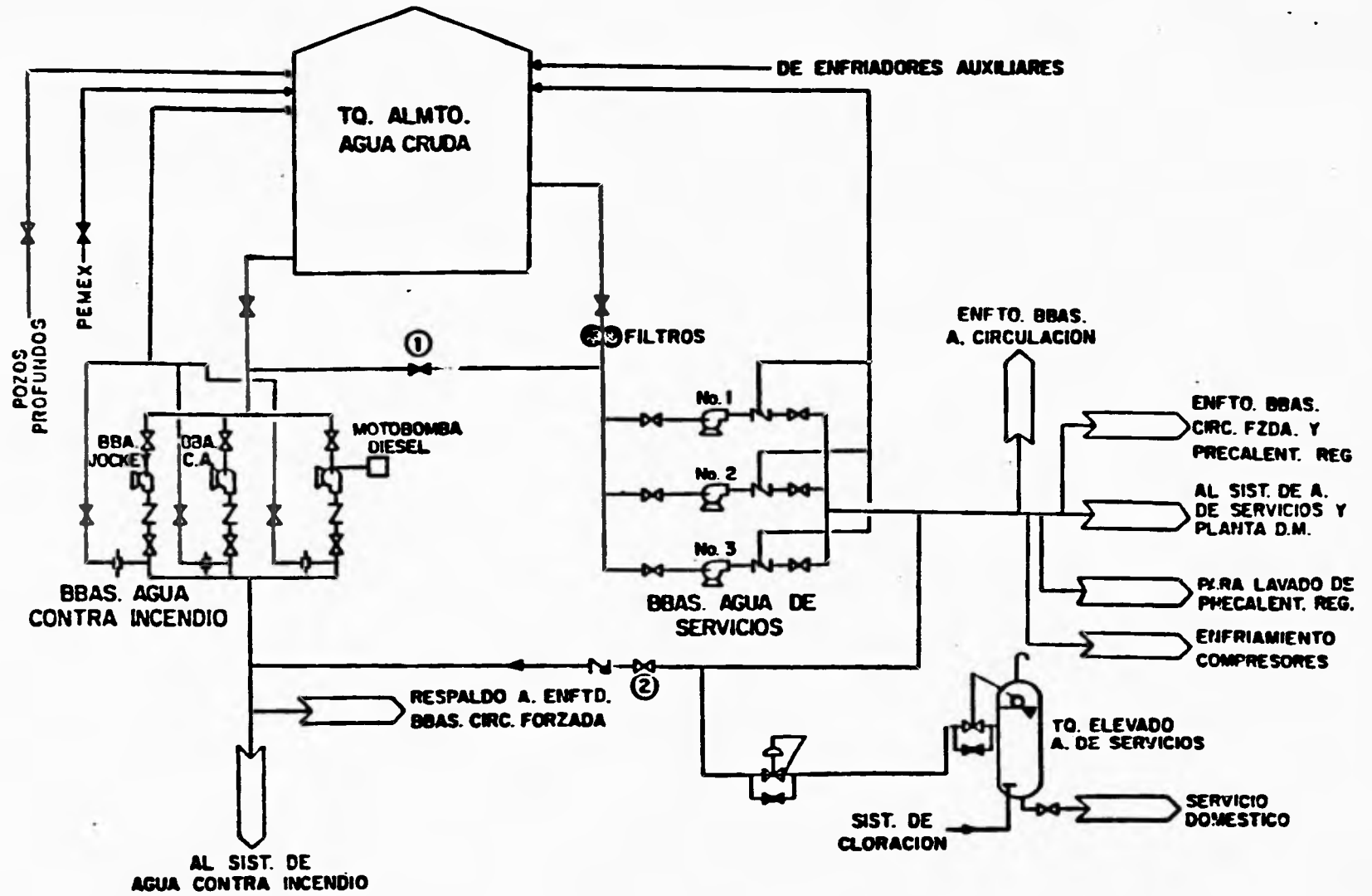


Fig. III 4.1 DIAGRAMA SIMPLIFICADO DEL SISTEMA DE AGUA DE SERVICIOS Y CONTRA INCENDIOS.

- TANQUE DE AGUA CRUDA .- Este tanque , ilustrado en la (fig. III.4.2) , tiene una capacidad de 5.070 m^3 con una altura de 12.2 m y un diámetro aproximado de 23 m. Está construido con -- cinco láminas dispuestas verticalmente , por lo cual se dice que el tanque es cinco láminas , con una capacidad aproximada de $1,014 \text{ m}^3$ -- por lámina .

Al tanque le llega únicamente agua cruda de pozos profundos , ya sea de la propia planta , normalmente , o de algún sistema de alimentación de agua cruda .

Tienen indicación de nivel por flotador , con su escala graduada de arriba hacia abajo , desde 0 m^3 hasta 4.609 m^3 . También tiene interruptores de nivel bajo y alto .

Este último para evitar únicamente señal de paro a bombas de pozo profundo cuando el nivel en el tanque ya es alto .

Los interruptores de bajo nivel son tres ; uno de ellos manda -- arrancar bombas de pozo profundo cuando el nivel desciende a un cierto valor . Si el nivel disminuye más operará una alarma en cuarto de control , que avisará al operador que hay , o un problema en el suministro o demasiado consumo en el sistema , por lo que deberá tomar medidas adecuadas para corregir el problema . Si continúa descendiendo el nivel , al llegar al límite de la succión de las bombas de agua de servicios , estos se separarán automáticamente para evitar que caviten y se dañen permanentemente . Para esto último , cabe aclarar que la succión de las bombas de agua de servicio se encuentra a un nivel más alto que el de las bombas de agua contra incendio lo que impide que aquellas puedan vaciar el tanque , dejando siempre , de esta manera -- una reserva de 1363 m^3 de agua para el combate de siniestros .

En caso de que el sistema contra incendio falle o tenga problemas para su uso , abriendo la válvula 1 (fig. III.4.3) permite al sistema de agua de servicio , usar esa reserva para alimentar al sistema contra incendio , a través de la válvula 2 que interconecta los dos sistemas en la descarga .

147

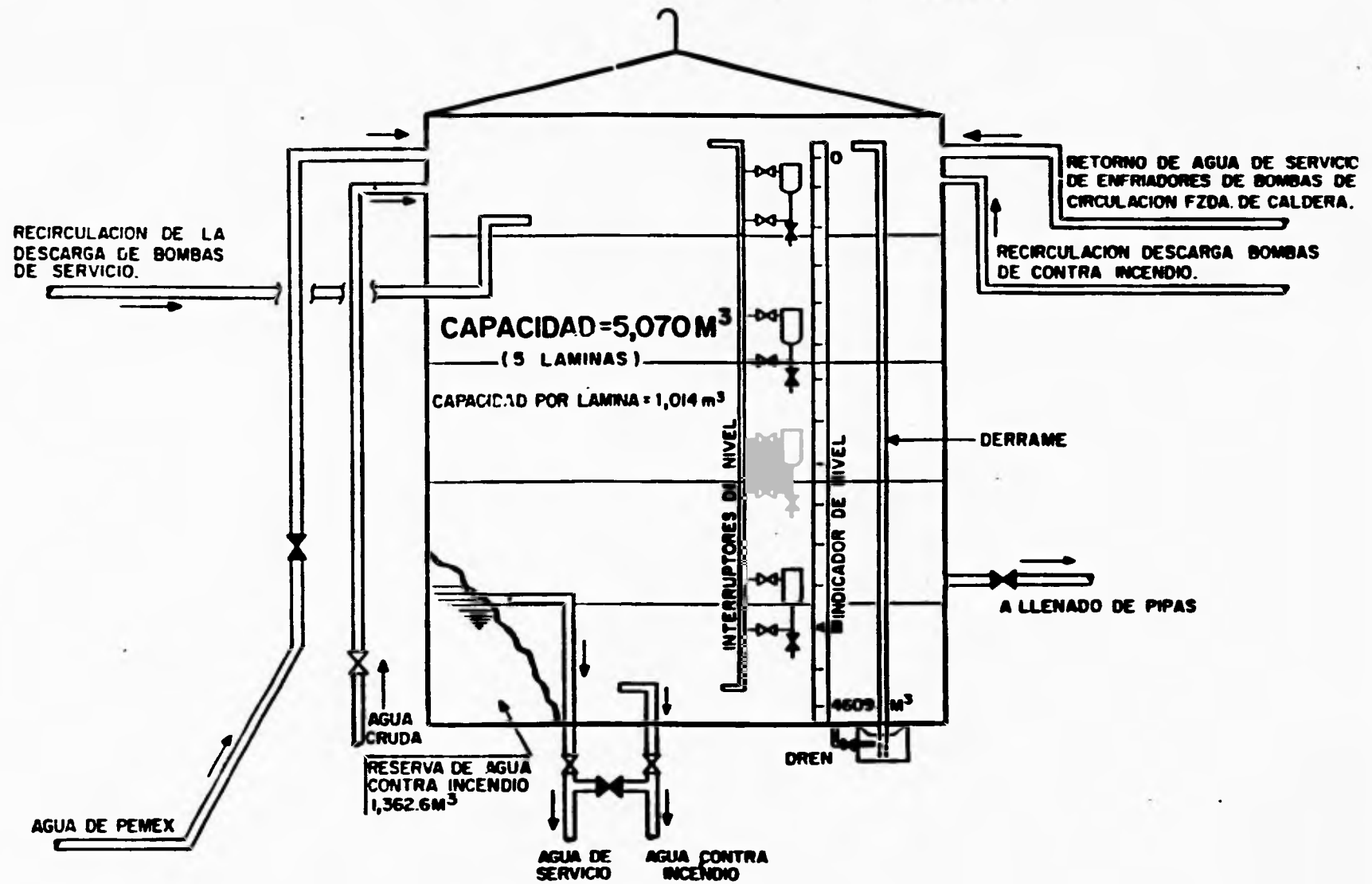
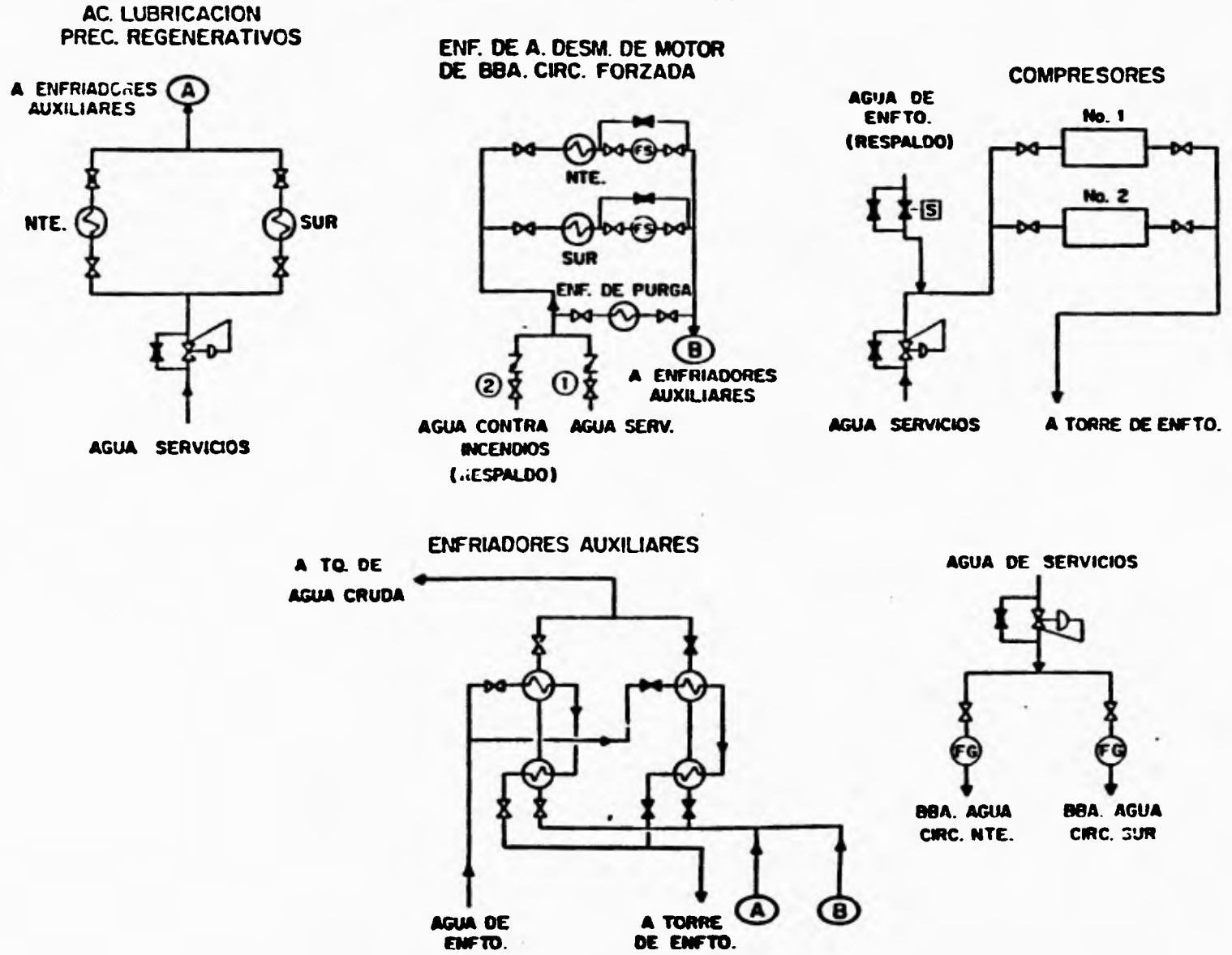


FIG. III. 4. 2 TANQUE DE AGUA CRUDA .

Fig. II. 4. 3 DIAGRAMA SIMPLIFICADO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CON AGUA DE SERVICIOS.



- BOMBAS DE AGUA DE SERVICIOS.- Se cuenta con tres bombas en este sistema de las siguientes características:

BOMBA

TIPO: Centrífuga, horizontal de un paso

PRESION DE DESCARGA: 1.37 Mpa.

GASTO: 2.65 m³/dia, hora, minuto

VELOCIDAD: 2,970 RPM.

MOTOR

POTENCIA: 150 HP.

VOLTAJE: 480 V

FRECUENCIA: 60 Hz.

VELOCIDAD: 2,970 RPM

Una sola bomba de éstas es suficiente para satisfacer la demanda del sistema, por lo tanto, otra bomba permanecerá en automático para que entre en servicio si se requiere. La tercera bomba quedará de reserva preparada.

De la voluta de la bomba se toma para sellar y enfriar sus empaques, abriendo las válvulas de suministro respectivamente (Fig. III.4.4.) Sus cojines son lubricados con aceite por lo que, con frecuencia, hay que verificar el nivel en sus depósitos y reponerlos en caso necesario.

Estas bombas tienen válvula de no retorno en su descarga, de donde sale una línea de recirculación hacia el tanque, que abrirá cuando exista poco consumo en el sistema y cerrará cuando se incrementa.

Los interruptores de estas bombas se encuentran localizados en el tablero de la torre de enfriamiento.

- SISTEMA DE AUTOMATIZACION DE LAS BOMBAS.- Las bombas se arrancan o paran en forma manual, desde el tablero de auxiliares del cuarto de control. También arrancan en forma automática, siempre y cuando el interruptor correspondiente se encuentre en posición "Auto" ba-

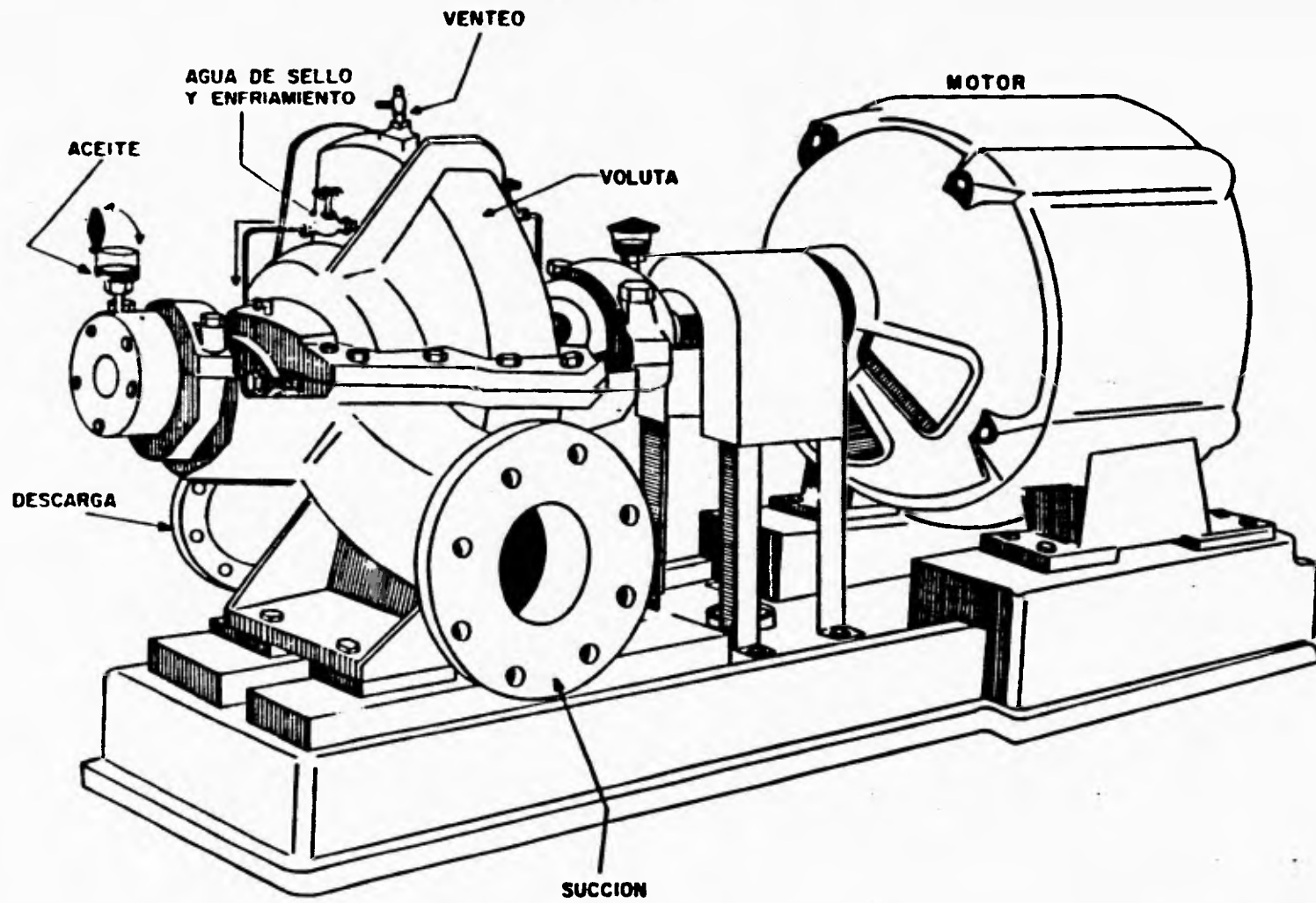


FIG. III.4.4 BOMBA DE AGUA DE SERVICIOS.

jo condiciones de baja presión en el sistema (1.24MPa.) , o por --
disparo por sobrecorriente de la bomba que se encuentre en servicio .

Como ya se mencionó anteriormente, las bombas paran en forma automática, aún cuando su interruptor no se encuentre en posición "AUTO" si el nivel del tanque de agua cruda llega al límite de la succión.

También cuenta el sistema con un interruptor de baja presión - que enviará señal de alarma cuando la presión en el cabezal baja de - 1,17 MPa.

- ENFRIADORES DE BOMBAS DE CIRCULACION FORZADA NORTE Y SUR.-

Se utiliza agua de servicios para enfriar el agua desmineralizada que, a su vez, enfría a los devanados del motor de cada bomba de - circulación forzada.

- ENFRIADORES DE ACEITE DE LUBRICACION DE PRECALENTADORES REGENERATIVOS.-

El aceite de lubricación de las chumaceras lado caliente de los precalentadores regenerativos enfría en intercambiadores de calor que utilizan también agua de servicios.

- ENFRIAMIENTO DE COMPRESORES.- Se utiliza el agua de servicios tanto para enfriar las camisas de los cilindros de baja y alta - presión, como para enfriar el aire y lograr que el proceso de compresión sea, en lo posible, a temperatura constante, para que dicho --- proceso sea más eficiente.

Hay que recordar que, como se vió en el tema "Agua de enfriamiento", también cuenta con un suministro de agua como respaldo para enfriamiento de compresores.

DESCRIPCION FUNCIONAL

Las bombas de agua de servicios succionan del tanque de almacenamiento de agua cruda (al nivel de la segunda lámina) a través de - filtros dobles (duplex), para descargar el agua hacia el cabezal de - agua de servicios, en donde se encuentran ubicados los interruptores de presión que controlan la operación automática de las bombas. Del cabezal, el agua se distribuye para utilizarse, tanto como enfriamiento, para compresores, bombas de agua de circulación, precalenta-

dores regenerativos y bombas de circulación forzada, como para otros servicios, como son los servicios generales de la central, planta - desmineralizadora, lavado de precalentadores regenerativos (eventualmente) y el tanque elevado de servicio doméstico.

Como ya se había mencionado, tanto el cabezal de succión como el de descarga de los sistemas de agua de servicios y contra incendio se interconectan para que en caso de incendio y que haya falla en el suministro a este sistema, se le pueda alimentar agua directamente del sistema de agua de servicios.

DESCRIPCION DEL EQUIPO PRINCIPAL DEL SISTEMA DE AGUA CONTRA INCENDIO.

Este sistema se alimenta también del tanque de agua cruda y consta del siguiente equipo:

- Tanque de agua cruda
- Bomba contra incendio de C.V.
- Motobomba diesel contra incendio
- Bomba mantenedora de presión (Jockey)
- Respaldo de agua a enfriadores de bombas de circulación forzada
- Red de hidrantes.
- TANQUE DE AGUA CRUDA.- Ya fué descrito en su mayor parte al describirse sistema de AGUA DE SERVICIOS. Cabe sólo agregar que la línea de succión para las bombas de este sistema esta conectada en la parte más baja del tanque para aprovechar la reserva contra incendio de 1,363 m³.

- BOMBA CONTRA INCENDIO DE C.V.- Esta bomba se encarga de proporcionar el gasto y presión de agua (1.07 MPa) necesarios para combatir los incendios, por lo que sólo se pone en servicio durante emergencias, (por incendio o falla de enfriamiento a las bombas de circulación forzada) o durante su prueba periódica. Sus características son las siguientes:

BOMBA

TIPO: Centrifuga, horizontal, de un paso

PRESION: 1.08 MPa.

GASTO

VELOCIDAD: 1,775 RPM.
IMPULSOR: 47 cm. de diámetro
MOTOR:
POTENCIA: 200 HP
VOLTAJE: 480 V.
FRECUENCIA: 60 Hz.
VELOCIDAD 1,775 RPM
FASES: 3

Esta bomba tiene su interruptor de control en el tablero de Auxiliares del cuarto de control para arrancarla manual o automáticamente. Para que arranque en forma automática se requiere que su interruptor de control se encuentre en posición de "AUTO" y que la presión en el sistema baje hasta 0.69 MPa, lo cual puede ocurrir cuando se abra un hidrante en el sistema durante un incendio o cuando falle el sistema de agua de servicios y el sistema contra incendio alimente agua a los enfriadores de las bombas de circulación forzada.

- **MOTOBOMBA DIESEL CONTRA INCENDIO.-** En caso de incendio y no disponer de suministro de corriente alterna en la planta, esta bomba proporcionará el gasto y presión del agua para combatir el siniestro. Proporciona el mismo flujo y presión que la bomba de C.A. y su arranque solamente puede efectuarse desde el tablero local de la motobomba.

- **BOMBA MANTENEDORA DE PRESION (JOCKEY).-** Esta se encarga de alimentar el reducido flujo de agua que el sistema pierde habitualmente por fugas u otras causas, manteniendo llenas y presurizadas las líneas del sistema para que éste pueda estar, en cualquier momento, en condiciones de servicio ante una emergencia. Sus características son las siguientes:

BOMBA

TIPO: Centrífuga, horizontal, de un paso
PRESION: 1.08 MPa
VELOCIDAD: 1,775 RPM
GASTO

MOTOR

POTENCIA: 20 HP
VOLTAJE: 480 V
FRECUENCIA: 60 Hz.
VELOCIDAD: 1,775 RPM.
FASES: 3

Su arranque o paro se controla manualmente, desde el tablero de Auxiliares del cuarto de control.

NOTA:

Cada una de estas bombas tiene una línea de recirculación, a través de una placa de orificio, para garantizar un mínimo de flujo a través de ellas que evite que pueda calentarse el agua, al grado de que halla cavitación, dañando al impulsor y la voluta y posteriormente, al evaporarse el agua calentamiento de la bomba en sí, que puede provocar que dañe seriamente al rozar la parte móvil con la fija.

Dicha recirculación descarga también en el tanque de agua cruda.

- RESPALDO DE AGUA A ENFRIADORES DE BOMBAS DE CIRCULACION FORZADA (Fig. III*4.1). Este sistema tiene una línea de suministro de agua como respaldo al sistema de enfriamiento de las bombas mencionadas. Dicha línea cuenta con una válvula de bloqueo y una de no retorno 2, la cual impide que cuando está suministrando el agua el sistema de Agua de Servicio, por manejar una mayor presión el agua puede irse hacia el Sistema contra Incendio; pero en el caso de que, por cualquier motivo, se pierda el suministro al sistema 1, la línea de respaldo 2, inmediatamente proporcionará el flujo necesario para el enfriamiento.

- RED DE HIDRANTES - Las bombas de agua contra incendio descritas descargan en su cabezal de donde se alimentan los diferentes ramales que conducen el agua a la red de hidrantes ubicados en las diferentes áreas de la planta, que son:

- Torre de enfriamiento
- Tanque de almacenamiento de combustible
- Transformadores principales (sistema de rociadores)

- Casa de Máquinas
- Caldera
- Caseta de gas
- Tanque de aceite de la turbina
- Oficinas
- Almacén

DESCRIPCION FUNCIONAL

Como ya se había mencionado en el Sistema de Agua de Servicios, en caso de emergencia se puede alimentar el sistema Contra Incendio con las bombas de Agua de Servicio si está abierta la válvula (Fig III.4.1)(diagrama simplificado) y en caso de agotarse el agua para este sistema, abriendo la válvula 1 (misma figura) se puede continuar alimentando agua al Sistema contra Incendio, aprovechando la reserva del tanque.

En caso de presentarse un conato de incendio, la coordinación del personal es de suma importancia, por lo que será el patiero, quien vigile la operación correcta de la (s) bomba (s) contra incendio, mientras que el personal del área afectada lo combatirá con agua, SIEMPRE Y CUANDO EL INCENDIO DEBA COMBATIRSE CON AGUA.

El agua se aplica para apagar fuegos clase A, que son aquellos donde se quema madera, estopa, trapos, basura, etc. También se emplea con buen resultado para apagar fuegos clase B, que son aquellos donde se quema aceite, combustoleo, gasolina, pinturas, solventes, etc Para que el agua pueda sofocar esta última clase de fuego debe aplicarse con la mayor presión posible y además en FORMA DE NIEBLA.

EL AGUA NO DEBE USARSE PARA APAGAR FUEGOS CLASE C, que involucran INSTALACIONES Y EQUIPOS ELECTRICOS ENERGIZADOS, debido a que el agua cruda tiene una alta conductibilidad y causaría un choque eléctrico a la persona que la aplicara, que podría ser de fatales consecuencias.

IV.

SISTEMA DE AGUA DE TRABAJO

IV.1

ABASTECIMIENTO Y TRATAMIENTO DE AGUA DE TRABAJO

Este tema se caracteriza por el agua de enfriamiento proveniente de pozos profundos y de agua negra tratada; indicando los problemas químicos de que son promotoras, tales como incrustación, depósitos de corrosión, ensuciamiento y crecimientos orgánicos.

Explica los diferentes tratamientos a que es sometida el agua en las torres de enfriamiento como: acidificación, cloración, inhibidores de depósitos, inhibidores de corrosión, biocidas y surfactantes.

Contiene los diferentes equipos usados para llevar a cabo éstos tratamientos así como su operación y límites de control establecido.

CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.

Torre de Enfriamiento.

- El equipo principal del sistema es la torre de enfriamiento la cual es de flujo cruzado, de tiro inducido de once celdas con sus respectivos ventiladores, la pileta con un volumen de 3500 m³, la diferencial de temperatura entre la llegada y entrega de agua es de 12^oC.

Temperatura de llegada a la torre: 35-40^oC.

Temperatura de salida a la torre: 24-28^oC.

Cuenta con dos bombas de agua de circulación verticales que succionan del cárcamo de bombeo entregando un flujo de 12100 m³/hrs. cada una.

- El sistema es un circuito cerrado, excepto por la reposición de agua perdida por evaporación purga y arrastres, siendo éste flujo teórico de reposición de 636.5 m³/hrs.

Condensadores.

- El condensador es el equipo principal a enfriar, el cual es tipo de

dos pasos, con dos cajas de agua individuales.

Auxiliares.

Así mismo, se tiene el enfriamiento de equipos auxiliares tales - como compresores, aceite de bombas de agua de alimentación, aceite de turbina, aceite de sellos del generador, muestreos químicos y enfriamiento del excitador, representando el enfriamiento de estos equipos el 6.5% aprox. del flujo de agua de enfriamiento en cualquier unidad.

AGUA DE ENFRIAMIENTO.

Normalmente, el agua de repuesto a torres de enfriamiento No. 1 - y 2, es agua negra tratada, la torre No. 3 es una mezcla de agua negra tratada y agua de pozos profundos, en las torres No. 4 y 5 se cuenta con agua de pozos profundos, aunque existen variaciones dependiendo de la disponibilidad de los sistemas.

Características del agua de enfriamiento.

Análisis típico de agua negra tratada y pozos profundos..

<u>Agua Negra Tratada</u>	<u>Pozos Profundos</u>
pH = 7.5	7.5
Cond = 1650	1400 mmohs/cm2.
Alc F = 0	0 ppm
M = 80	345 ppm
DT = 340	539 ppm
DCa = 110	345 ppm
SiO2 = 65	66.5 ppm
Cl = 400	158 ppm
PO4 = 17.5	1.02 ppm

El sulfato de calcio tiene una solubilidad de 1290 ppm. a 0°C - 1540 ppm a 43°C y 1250 ppm a 100°C. Las incrustaciones de sulfato de calcio son duras. Se debe mantener una concentración menor de 1200 ppm, para prevenir la formación de incrustaciones.

Las sales de sodio, los cloruros de calcio y magnesio y el sulfato de magnesio, son extremadamente solubles, variando su solubilidad de 60,000 a 500,000 ppm. de manera que no presentan problemas de incrustación a no ser que se concentren a límites demasiado altos.

Solubilidad de Bicarbonatos, Carbonatos, Cloruros y Sulfatos de Calcio y Magnesio.

Tabla IV.1.1

NOMBRE	FORMULA	PPM (Ca CO ₃)	
		0°C	100°C
BICARBONATO DE CALCIO	Ca(HCO ₃) ₂	1620	desaparece
CARBONATO DE CALCIO	CaCO ₃	15	15
CLORURO DE CALCIO	CaCl ₂	336000	334000
SULFATO DE CALCIO	Ca SO ₄	1290	1250
BICARBONATO DE MAGNESIO	Mg(HCO ₃) ₂	37100	desaparece
CARBONATO DE MAGNESIO	Mg CO ₃	101	75
CLORURO DE MAGNESIO	Mg Cl ₂	362000	448000
SULFATO DE MAGNESIO	Mg SO ₄	170000	388000

Depósitos de Corrosión:

La corrosión se define como la destrucción del metal por una reacción química o electroquímica con el medio ambiente.

La forma más común de corrosión en los depósitos de hierro es la debida a oxígeno disuelto en el agua, ésta forma de corrosión se acelera por los pH bajos y más aún por un aumento en la temperatura.

Usualmente, este tanque se denuncia por la formación de "tuberculos" que se forman sobre cada picadura en el metal, esto reduce considerablemente el área de flujo en el equipo así como aumenta la resistencia para la transferencia de calor.

Otra forma de corrosión es la debida por aguas sulfurosas, que resulta en la formación de los sulfuros metálicos. Los depósitos de sulfuros son negros y adherentes, pero frecuentemente se desprenden tapando válvulas y tuberías, por lo que se recomienda clorarlas y después arearlas para eliminar los sulfuros.

Corrosión de metales no ferrosos

El cobre y sus aleaciones son frecuentemente usados en intercambiadores de calor. Las aleaciones de cobre son relativamente resistentes a la corrosión pero muchos factores químicos y mecánicos específicos ocasionan el ataque corrosivo.

Los tipos comunes son: Decincificación, erosión-corrosión, rompimiento por fatiga o rompimiento por tensión.

Algunos factores que contribuyen a la corrosión del cobre son: - valores de pH bajos, amoníaco y cloro residual en exceso. Cuando el ataque se inicia el contenido de cobre en el agua de circulación aumenta ocasionando problemas a las aleaciones de acero del sistema. - El cobre puede depositarse sobre el acero y crear picaduras en dicho material.

Ensuciamiento.

El ensuciamiento de los tubos intercambiadores de calor es usualmente definido como deposición no formadora de incrustación de materiales como:

- 1 Lodo o fierro suspendido en agua de reposición.
- 2 Crecimientos orgánicos naturales en agua de reposición.
- 3 Partículas de materia fina de la atmósfera.
- 4 Deposición de aditivos químicos por mal control.
- 5 Migración de productos corrosivos.

El mantenimiento de las partículas de materia en suspensión implica el rango de fijación de un medio líquido. Los parámetros de control del rango de fijación son tamaño de partícula, líquido relativo y densidad de partícula, líquido o líquido efectivo/viscosidad de sólidos y la gravedad constante.

El rango de fijación es directamente proporcional al tamaño de partícula e inversamente proporcional a la viscosidad del líquido.

Estas relaciones están establecidas por la Ley de Stock. El control de tamaño de partícula es uno de los aspectos más importantes -

del control de depósito.

Cuando estas partículas se fijan, la naturaleza de la deposición resultante depende de la intimidad de las fuerzas de atracción entre partículas y las superficies de contacto. Si las fuerzas atractivas entre las partículas es fuerte, el depósito es denso y bien estructurado; si las fuerzas son débiles el depósito es blanco o bien se encuentran fluidas las partículas.

Similarmente, si las fuerzas atractivas entre las partículas y las superficies de contacto es grande, el depósito es adhesivo y difícil de remover.

El control básico de mecanismos de depósitos son:

- 1 Control de fuerzas atractivas partícula a partícula.
- 2 Control de fuerzas atractivas partícula a superficie.
- 3 Control de rango de precipitación y retardación del crecimiento del cristal.

Crecimientos Orgánicos.

El agua de torres de enfriamiento, por efecto de la luz y calor, favorece el desarrollo de algas por efecto de la elevación de temperatura, concentración de alimento de bacterias y la contaminación del aire, constituye un medio propicio para el desarrollo de limos, crecimientos que ocasionan problemas tapando las tomas de agua, los tubos del condensador, las boquillas de distribución del agua, y las espesas, también se producen hongos que atacan la madera de las torres de enfriamiento deslignificándola.

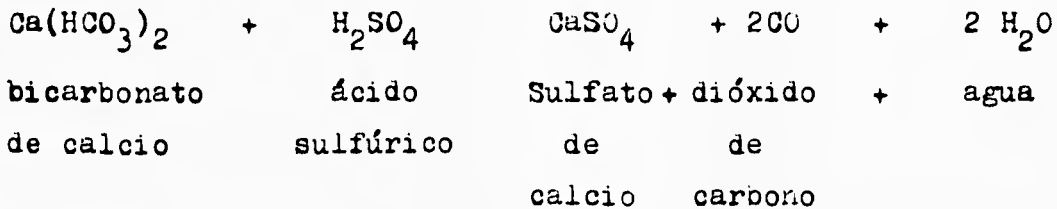
TRATAMIENTO DE AGUA:

Con el fin de tener un agua estable en el sistema de enfriamiento, que no forme depósitos aislantes del calor, ya sean de origen orgánico e inorgánico y que sea ligeramente incrustante no corrosivo, se agregan diferentes productos para llevar a cabo estas condiciones.

Acidificación.

Se lleva a cabo agregando ácido sulfúrico concentrado o diluido

a la torre de enfriamiento.



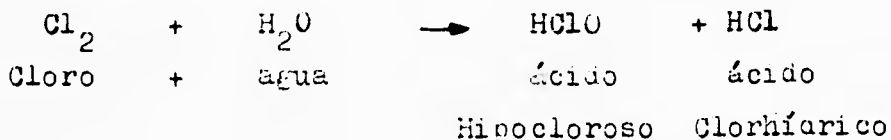
El tratamiento se basa en que los sulfatos de calcio y magnesio son mucho más solubles que sus carbonatos, el carbonato de calcio - principal formador de incrustación tiene una solubilidad de 1250 ppm-

Aún cuando el carbonato de magnesio tiene una solubilidad de 100 a 75 ppm. y el hidróxido de magnesio de 17 a 8 ppm. el sulfato de magnesio tiene una solubilidad de 170,000 a 350,000 ppm. a las mismas - temperaturas, todo como CaCO_3 . De aquí que si en un sistema de en---friamiento todos los carbonatos se cambian a sulfatos, no se formará ninguna incrustación si la purga del sistema mantiene a los sulfatos a menos de 1250 ppm.

En la práctica no toda la alcalinidad se neutraliza con ácido, - sino que se mantiene una pequeña alcalinidad de calcio para que se - forme una película delgada protectora de carbonato de calcio e inhi---bir la corrosión.

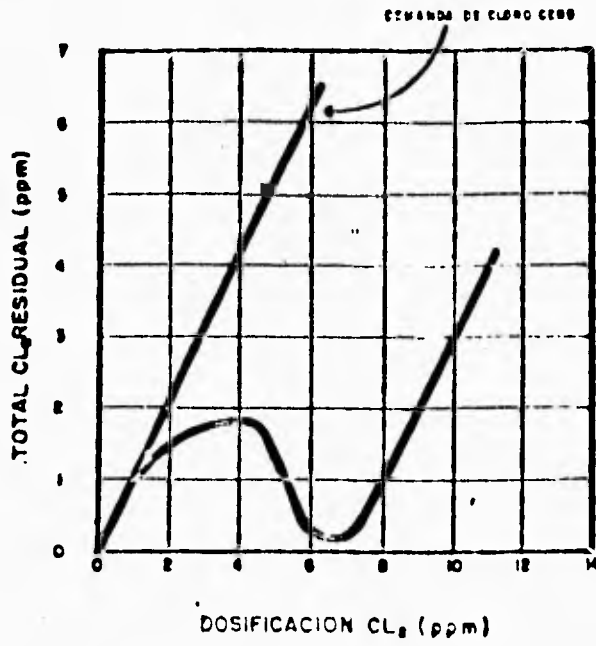
Cloración.

La inyección de solución de cloro se llevan a cabo mediante aparatos dosificadores llamados cloradores. La acción biocida del cloro es debida a la formación de ácido hipocloroso según la siguiente reac---ción:

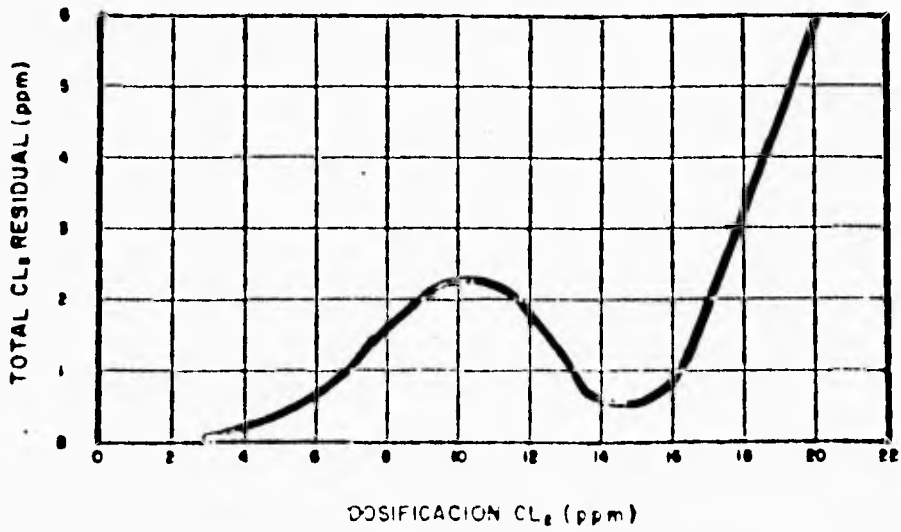


A la formación de ácido hipocloroso no actúa directamente sobre los organismos vivos sino que primero forma monocloraminas, dicloro---aminas y después ataca organismos vivos. (Fig. IV.1.1).

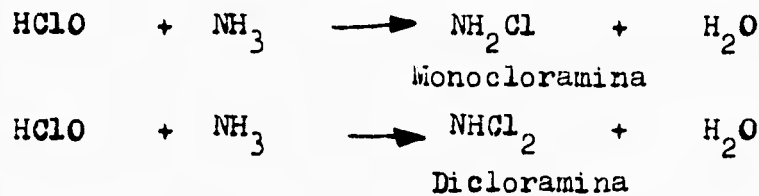
Fig. IV.1.1



CURVA TEORICA DE BREAK POINT EN CLORINACION



CURVA TIPICA DE BREAK POINT EN CLORINACION



El pH es un parámetro a controlar ya que a diferentes valores de éste, existe una formación diferente de ácido hipocloroso.

	HOCl	H	+	ClO
pH	6.5	100%	HOCl	formado
	7.0	70%	HOCl	formado
	8.0	40%	HOCl	formado
	8.5	25%	HOCl	formado
	9.0	0-5%	HOCl	formado

El HOCl destruye las bacterias e impide su desarrollo por oxidar la materia y compuestos orgánicos.

Surfactantes.

Los agentes surfactantes permiten que las superficies de las partículas suspendidas o precipitadas sean rápidamente mojadas y así sean más accesibles a los dispersantes biocidas.

Los surfactantes son utilizados con el fin de dar una mayor penetración sobre los depósitos de las superficies, removiendo los depósitos viejos y dando una mayor eficiencia al tratamiento.

Inhibidores de depósitos.

Dispersantes

Los dispersantes utilizados en sistemas de agua de enfriamiento-industriales son polímeros de bajo peso molecular funcionan por absorción, por lo que las fuerzas electrostáticas envuelven en lugar de formar enlaces covalentes. La adsorción es la concentración de una sustancia sobre la superficie del compuesto.

La dispersión se lleva a cabo por la adsorción de una sustancia sobre la partícula, en toda su superficie homogénea y así repeler a sus vecinos similares. Si la adsorción ocurre primero en el crecimiento de una partícula, prevendrá un nuevo crecimiento.

Floculantes.

Otro camino para controlar depósitos, es utilizar compuestos de polímeros de pesos moleculares grandes los cuales promueven la formación de un floculo abundante. El floculo se remueve por purgas y/o filtros con corriente de lado. Uno de los peligros que ocasiona este método es la sedimentación en equipos de bajo flujo tales como intercambiadores de calor de carcaza. El floculante apropiado es útil cuando fluye de 5 a 7 pie/seg., a una velocidad mayor.

Inhibidores de Corrosión.

Cromatos

El más efectivo inhibidor de corrosión remendable son las sales de cromato. Con concentraciones adecuadas pueden reducir la corrosión en un 95% o más. Por lo que es la mejor protección realizada por cualquier inhibidor químico.

Pero el uso de este producto es usualmente prohibitivo por su costo y su alta contaminación de los efluentes.

Fosfatos.

Los fosfatos, particularmente polifosfatos son también usados en el tratamiento de aguas de enfriamiento, aunque no son tan efectivos como los cromatos, presentan menor contaminación de los efluentes, y para tener una eficiencia como la de los cromatos es necesario usar otros productos en conjunto con el fosfato, tales como fosfonatos, zinc y azoles.

Estudios recientes nos muestran que amos, los ortofosfatos y polifosfatos son inhibidores en presencia de oxígeno. Los fosfatos ayudan a la formación de una película de gama-óxido de hierro que sirve de protección.

Los fosfatos han sido aplicados a niveles de 20 a 25 ppm. un rango de pH de 6.5 a 7.0. Cuando hay presencia de cobre o aleaciones de cobre en el sistema de agua de enfriamiento se debe utilizar un inhibidor para la corrosión del cobre que se incluye dentro del pro--

grama de tratamiento.

Nitritos.

El nitrito de sodio también puede ser usado como un inhibidor de la corrosión en sistemas de agua de enfriamiento. El nitrito protegerá la superficie del metal con ayuda de la formación de una película de gama-óxido de hierro similar a la que forma el cromato.

El nitrito no es un buen inhibidor para el cobre o aleaciones de cobre.

Biocidas

Cloro.

El cloro es un biocida oxidante que, al adicionarse se reduce de cloro a óxido de cloro para oxidar los iones ferrosos a iones férricos. La cantidad de cloro requerido para el control biológico depende de los siguientes factores:

- Calidad del agua de repuesto a las torres.
- Cantidad y tipo de contacto con la atmósfera.
- Naturaleza y cantidad del sistema contaminante.
- Programas de tratamiento para el agua de enfriamiento.
- Tipo y cantidad de la contaminación biológica.

El cloro al estar en contacto con el agua se hidrolisa en ácido clorhídrico. El pH controla la cantidad de ácido hipocloroso o iones de hipoclorito presentes en el agua de circulación. Pruebas en el laboratorio demuestran que el ácido hipocloroso es 80 veces más efectivo que el hipoclorito ionizado en la destrucción de bacterias.

La eficiencia germicida del cloro es menor para los sistemas de agua de enfriamiento cuando los valores de pH se aproximan o exceden de 8.

Antiespumantes.

Los antiespumantes son compuestos a base de ácidos grasos de alto peso molecular los cuales actúan aumentando la tensión superficial del agua e impidiendo la formación de espuma.

La dosificación empleada varía alrededor de 0.5 ppm ya que es la dosificación más eficiente económicamente.

EQUIPOS PARA EL TRATAMIENTO

Acidificación.

En la planta se cuenta con 7 bombas para la dosificación de ácido sulfúrico al 98%. Cinco bombas con una capacidad de 16.5 l/min. Para la dosificación a las torres de enfriamiento No: 1, 2, 3 y 4 y las otras 2 bombas con una capacidad de 16.5 l/min. y de 13 l/min. para la dosificación de la torre de enfriamiento No. 5.

Las bombas de H_2SO_4 para la T.E.- 1, 2, 3 y 4 succionan del tanque de alimentación No. 3 que a su vez tiene intercomunicación con los tanques No. 1 y 2 y pueden descargar en cualquier torre de enfriamiento dependiendo del alineamiento de las válvulas como se puede apreciar en la (Fig. IV.1.2).

Las bombas de H_2SO_4 para la T.E.- 5 succionan del tanque de almacenamiento No. 6 que se encuentran localizados al oriente de la casetta de la torre de enfriamiento y descarga en la parte central de la torre. (Fig. IV.1.3).

Sistemas de Cloración.

Existen 3 sistemas de cloración para el servicio de las 5 torres;

El sistema I se utiliza para la cloración de las torres de enfriamiento No. 1 y 2 (Fig. IV.1.4).

El sistema II se utiliza para la cloración de las torres de enfriamiento No. 3 y 4 (Fig. IV.1.5).

El sistema III utiliza para la cloración de las torres de enfriamiento No. 5 (Fig. IV.1.6).

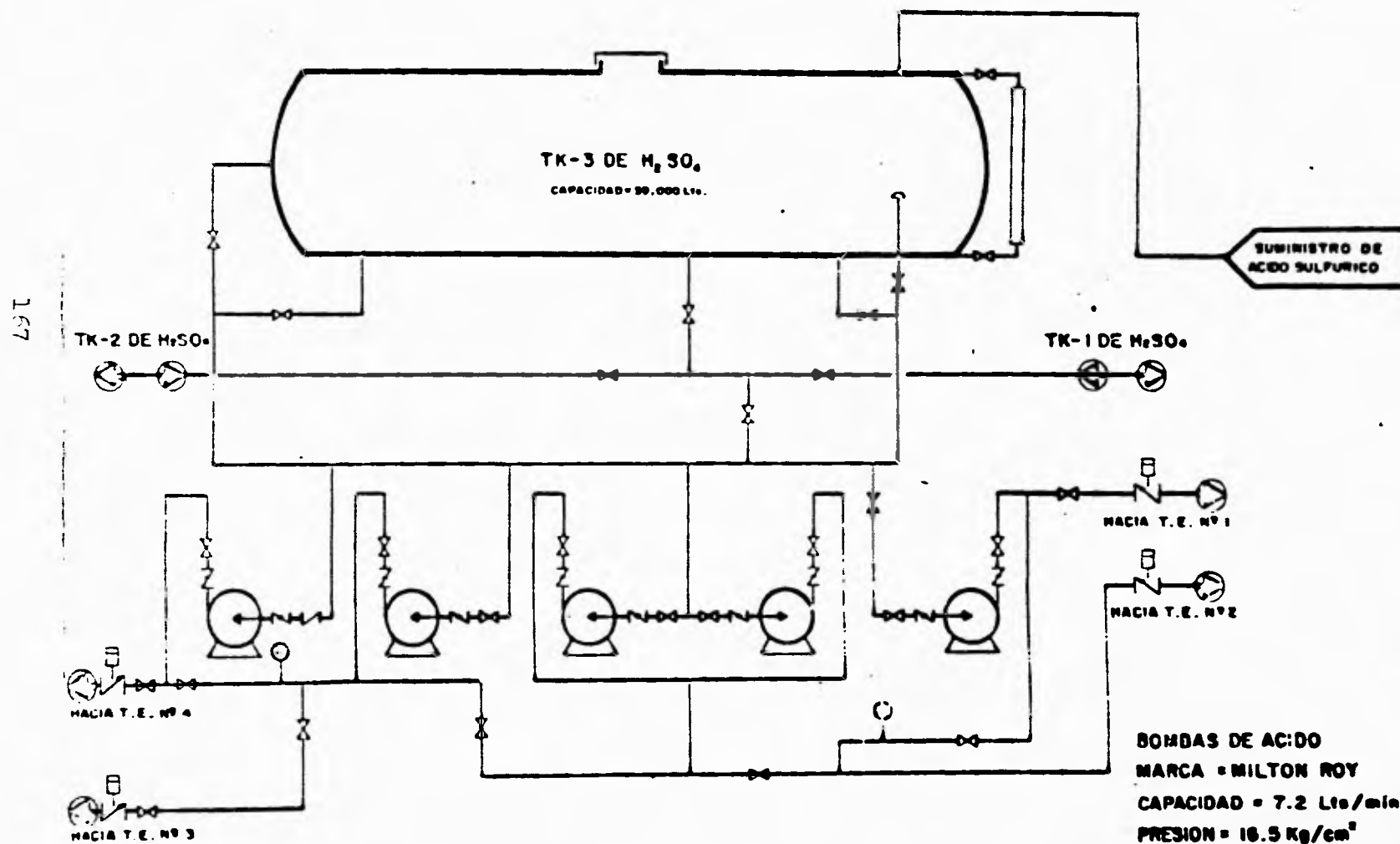
Los sistemas I y II se operan únicamente manualmente;

El sistema III opera manual o automáticamente.

El cloro líquido que utilizan los sistemas se suministra de los tanques de cloro con un peso de 908 Kg. que se encuentran en las cassetas de cloración.

SISTEMA DE DOSIFICACION H_2SO_4 A LAS T.E. N°1, 2, 3 Y 4

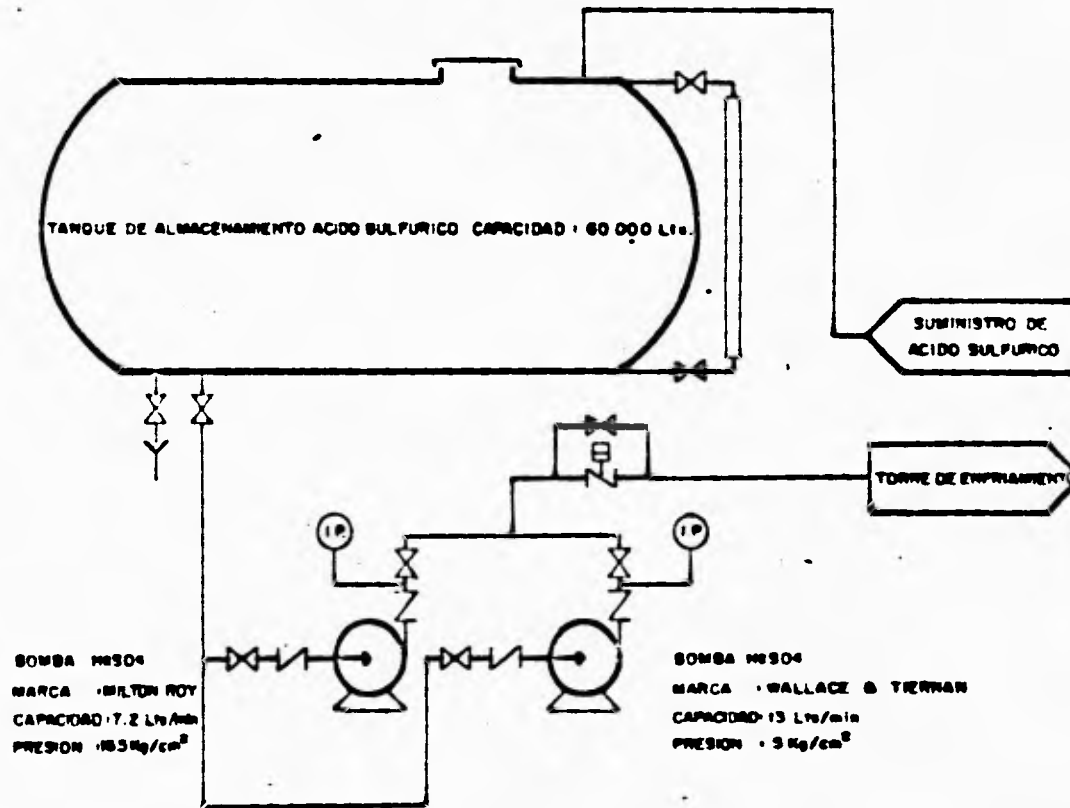
Fig. IV. 1. 2



SISTEMA DE DOSIFICACION H_2SO_4 T. E. U-5

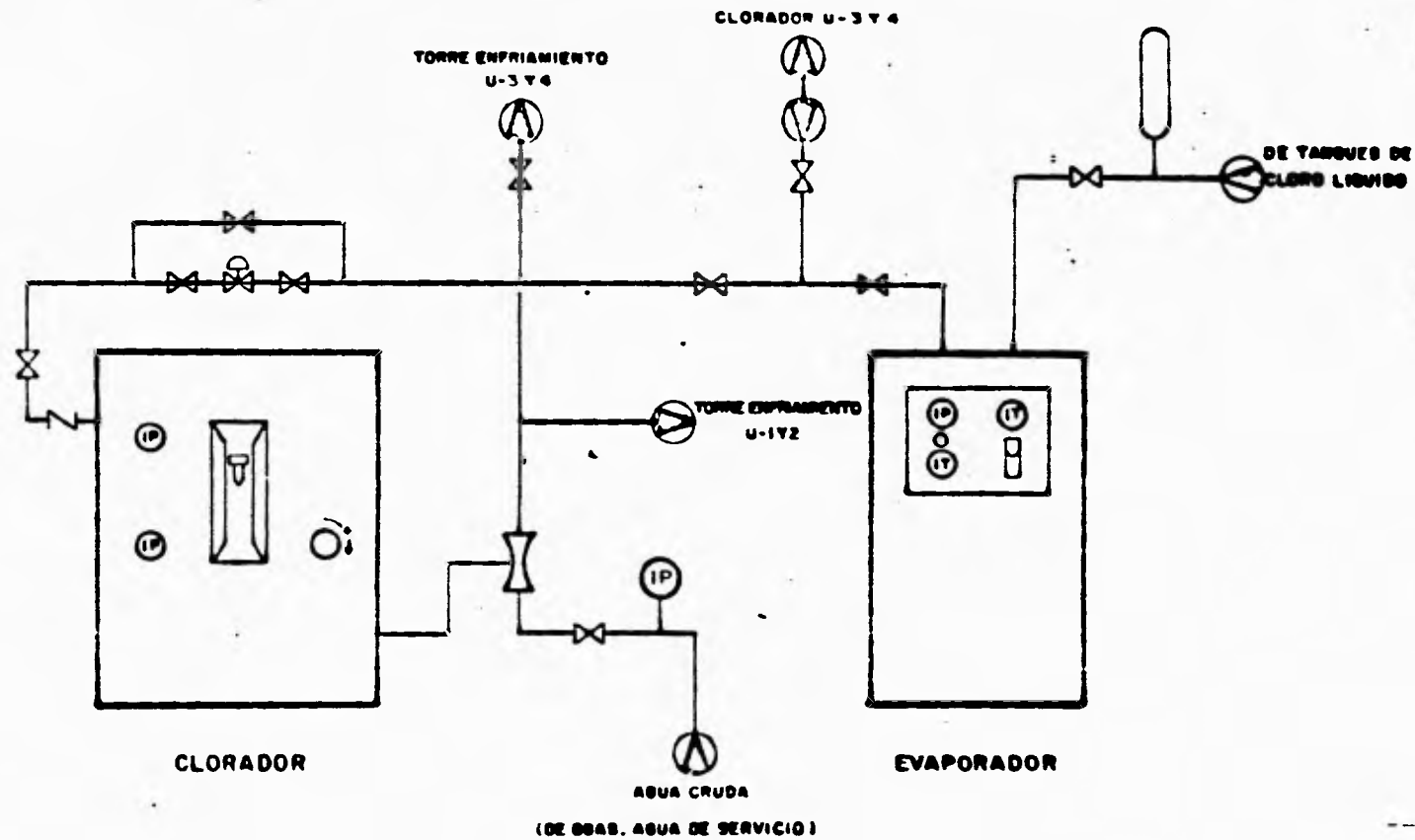
Fig. IV.1.3

169



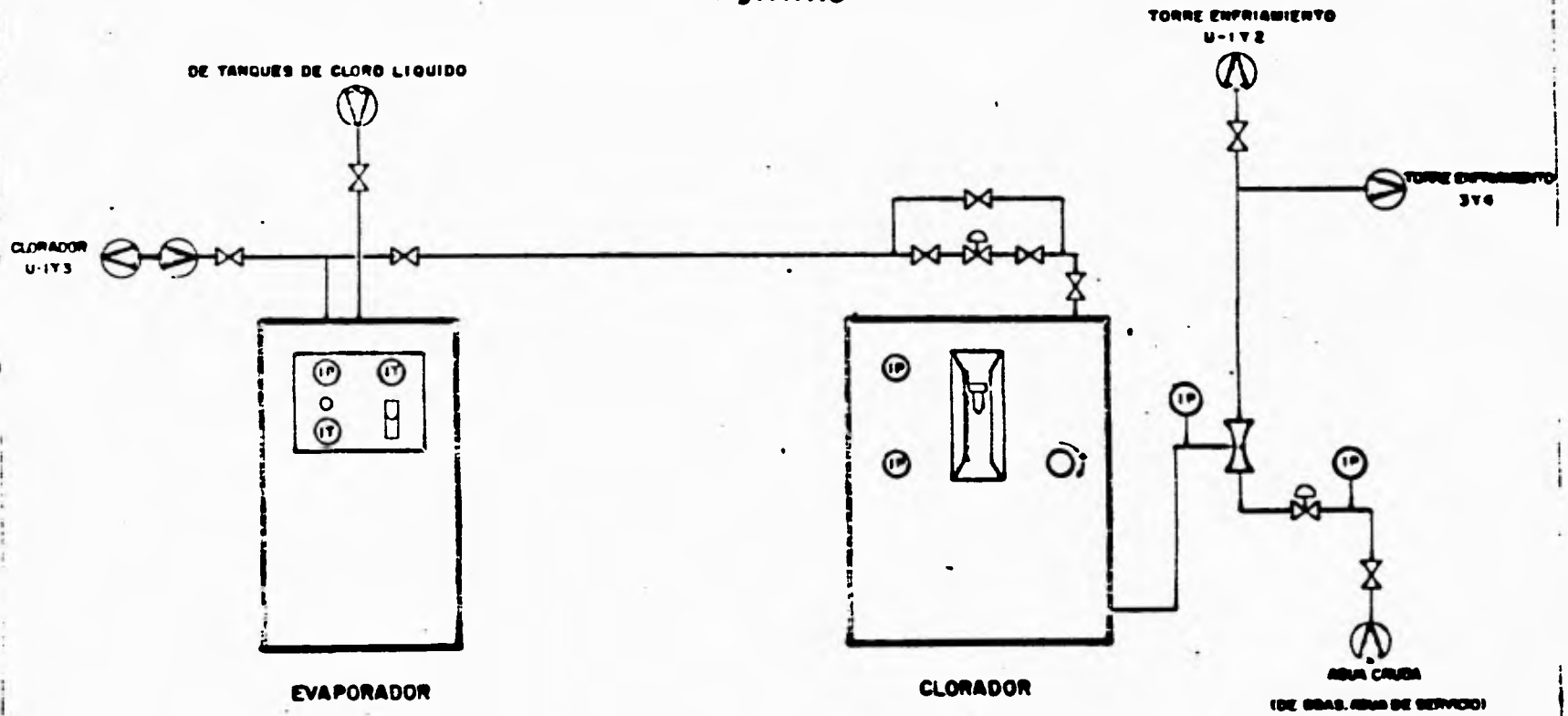
SISTEMA I DE CLORACION PARA T.E. N° 1Y2

Fig. IV.1.4



SISTEMA II DE CLORACION PARA T.E. N° 3Y4

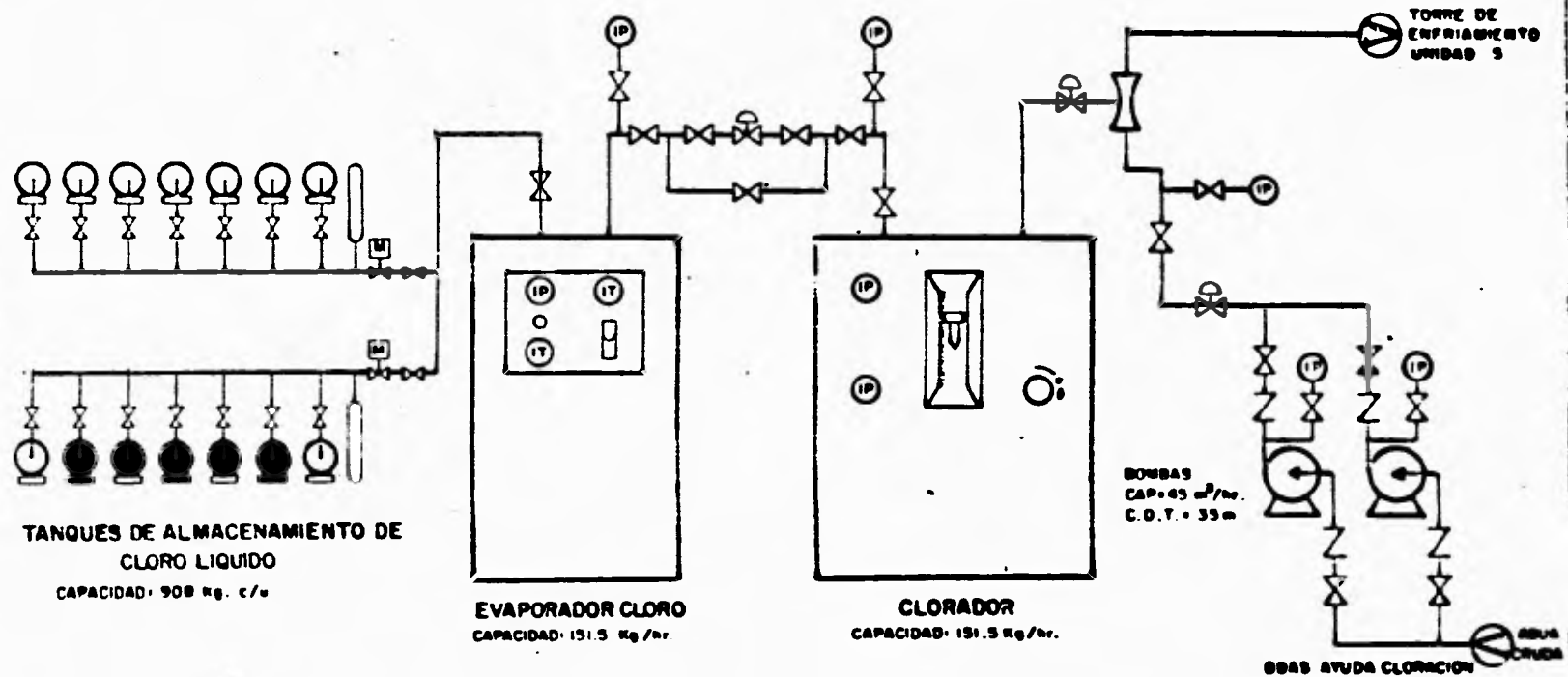
Fig. IV.1.5



SISTEMA III DE CLORACION PARA T.E. Nº 5

Fig. IV.1.6

171



Sistemas de dosificación de inhibidores.

Para la dosificación de dispersantes se cuenta con un tanque de almacenamiento y una bomba para cada unidad como se muestra en las (Figs. IV.1.7).

La dosificación de dispersantes depende de la composición de agua y la operación del sistema.

En las U-1 y 2 la dosificación del dispersante se hace continuamente a la línea de servicios auxiliares con ayuda de una bomba con capacidad de 5.1 G.P.H.

En las U-3, 4 y 5 la dosificación del dispersante se hace continuamente a la succión de las bombas de circulación con ayuda de una bomba con capacidad de 5.1 G.P.H.

A las Torres de Enfriamiento y sistemas de circulación de agua se recomienda aplicar microbicidas y surfactantes mediante choques previamente establecidos, seleccionando los puntos de aplicación en los lugares mayormente contaminados, para que la acción del control microbiológico del producto ofrezca resultados más efectivos. También puede ser alimentado mediante bomba dosificadora en un sitio próximo a la succión o descarga de las bombas de agua de circulación.

OPERACION DEL EQUIPO DE TRATAMIENTO.

Dosificación de ácido sulfúrico.

El suministro de H_2SO_4 a las torres de enfriamiento se regula dependiendo del valor del pH obtenido en el laboratorio.

De la (Fig. IV.1.8) podemos ver que cualquiera de las 5 bombas pueden bombear hacia cualquier torre de enfriamiento 1, 2, 3, o 4 dependiendo del alineamiento de las válvulas del diagrama.

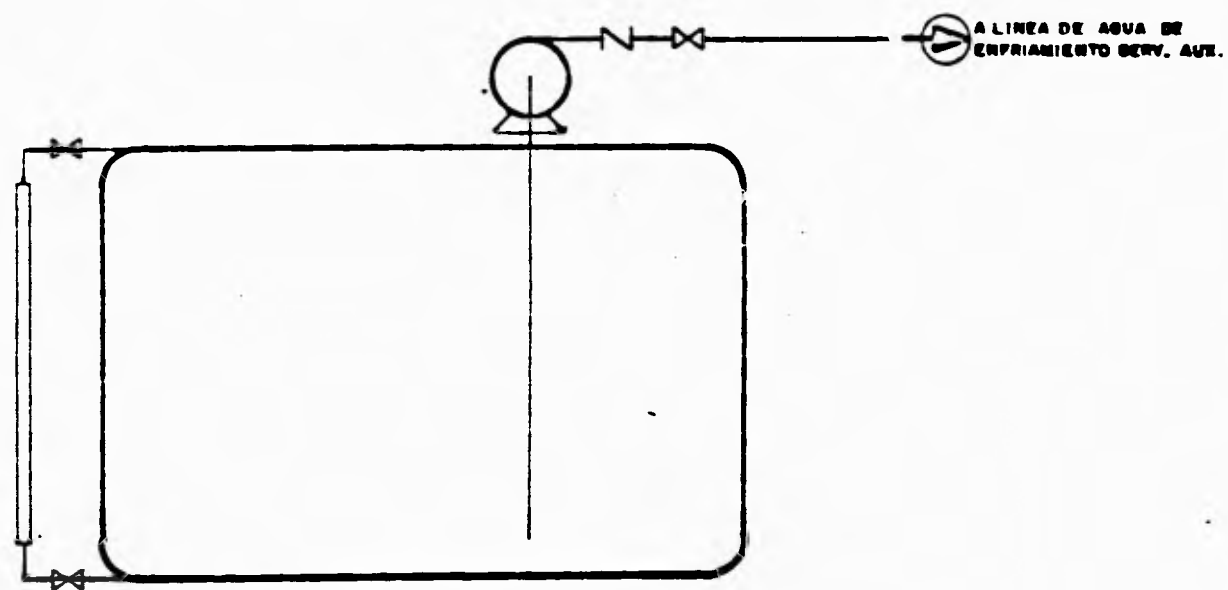
De la (Fig. IV.1.9) se observa que para el control de pH en la U-5 hay dos bombas.

Para el arranque de cualquier bomba de ácido sulfúrico hacer las siguientes maniobras:

- ABRIR las válvulas de succión y descarga de la bomba a usar.
- ALINEAR las válvulas de manera que el ácido llegue a la bomba elegida.

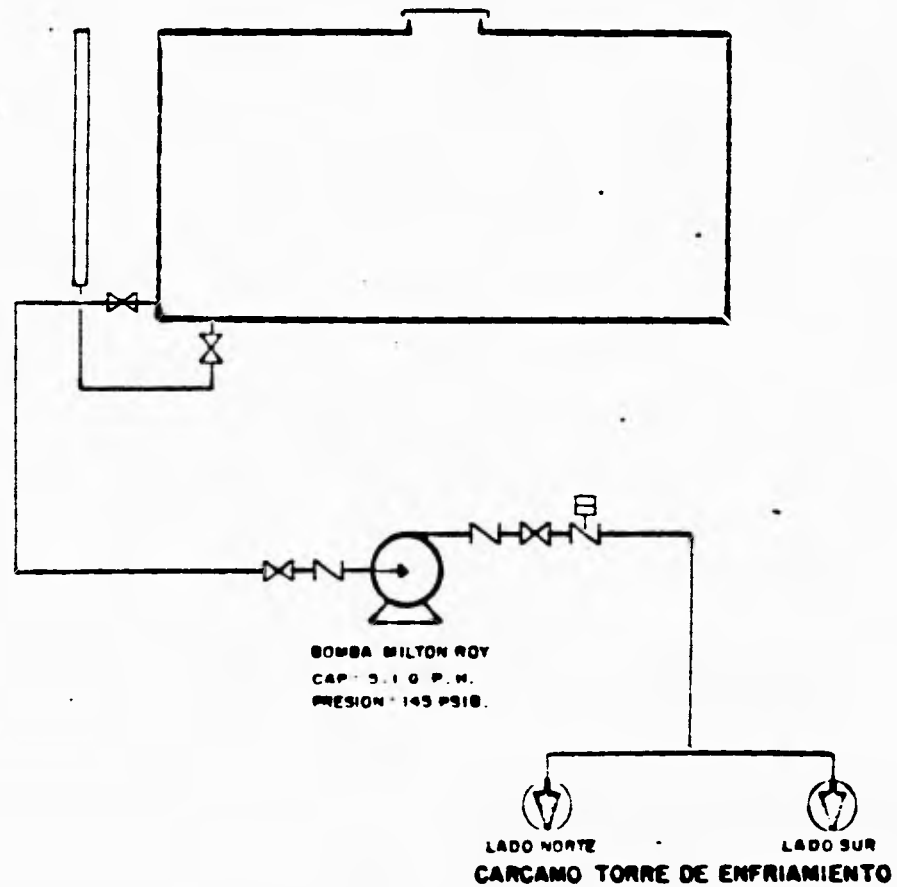
SISTEMA DE DOSIFICACION DE DISPERSANTE U-1, 2 Y 5.

Fig. IV. 1. 7



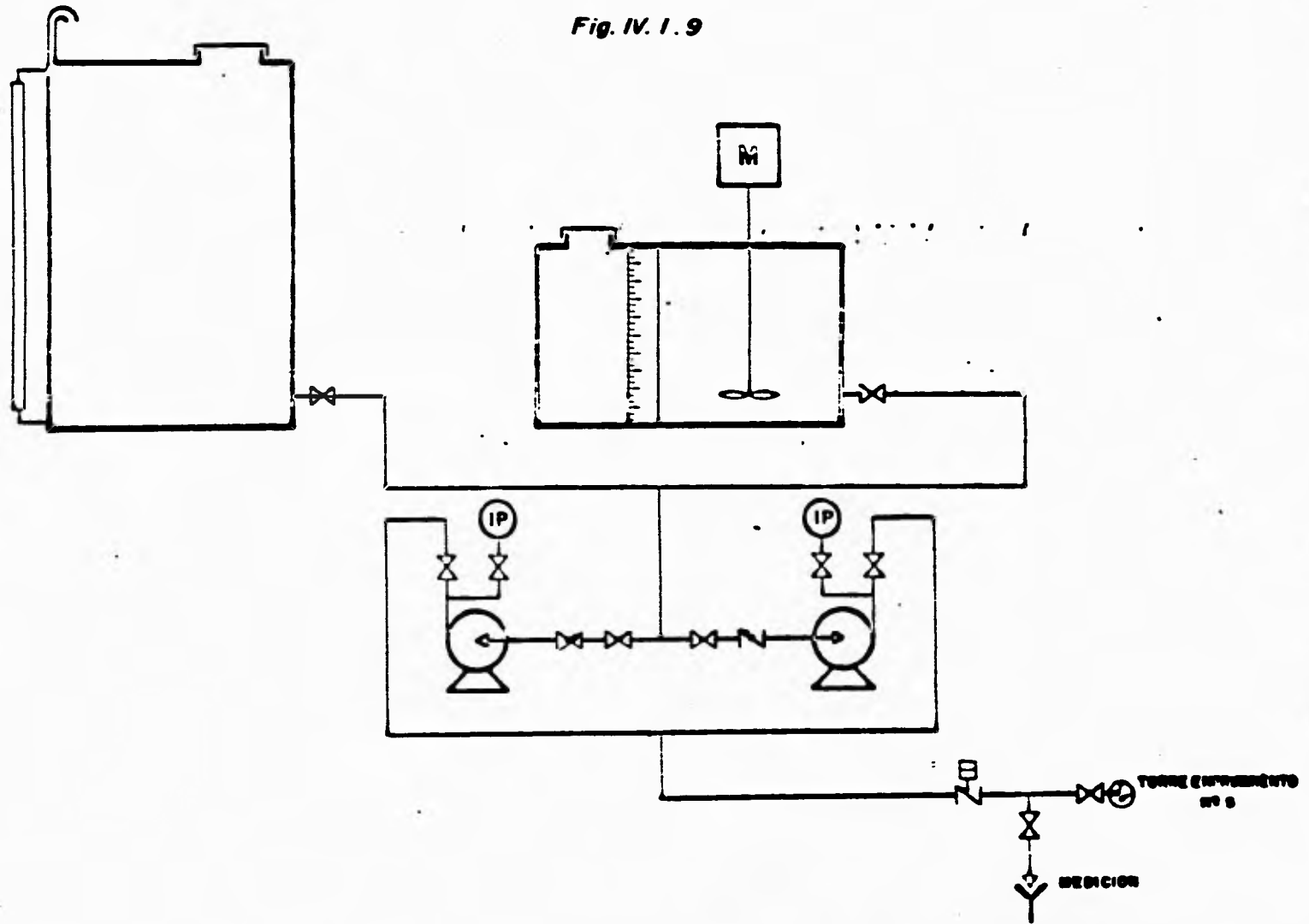
SISTEMA DE DOSIFICACION DE DISPERSANTE U-3 Y 4

Fig. IV. 1. 8



SISTEMA DE DOSIFICACION DE DISPERSANTE T. E. U-5

Fig. IV. 1. 9



- ARRANCAR la bomba pulsando el boton de arranque del cuarto de control de motores de la caseta de la torre de enfriamiento. Ajustar la carrera de la bomba a fin de mantenerla operando continuamente, y manteniendo los valores de pH dentro de los límites establecidos.
- Paro bomba ácido sulfúrico.
- PARAR la bomba pulsando el botón de paro del C.C.M. de la caseta de la T.E.
- CERRAR las válvulas de succión y descarga.

Dosificación del cloro (Fig. IV.1.10).

Para la dosificación del cloro hacemos uso de los sistemas de cloración I, II y III Puesta en servicio del clorador:

- Conectar al cabezal un tanque de cloro lleno.
- Poner en servicio la resistencia del evaporador para tener una temperatura de 160-180°F.
- Verificar si el manómetro del evaporador marca presión de cloro.
- Abrir la válvula de agua de cloración hasta una presión de 2.5 Kg/cm².
- Verificar que existe vacío en el clorador
- Al llegar a la temperatura y presión de operación.

Si opera la válvula automática; abrirá y alimentará al clorador.

Si se opera por by pass, abrirlo manualmente para alimentar al clorador.

- Regular con la válvula de ajuste la cantidad de cloro, a dosificar.

El sistema de cloración de la U-5 se puede operar manual o automáticamente, mientras que los sistemas de cloración de las unidades 1, 2, 3 y 4 se operan manualmente.

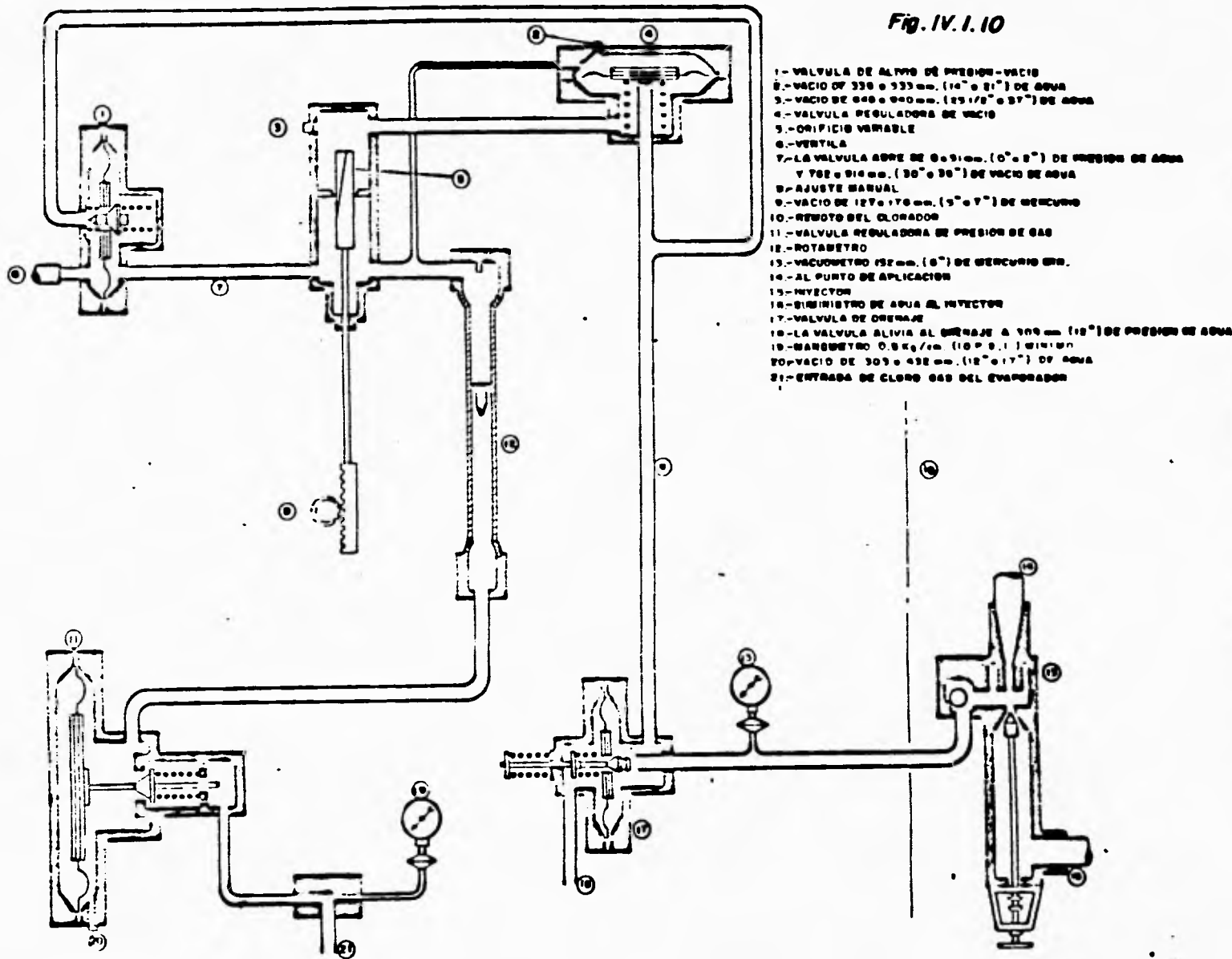
Dosificación de inhibidores.

Dependiendo del análisis y estudio del agua y las condiciones a que se va a someter, se eligen los inhibidores más adecuados.

Los inhibidores se dosifican continuamente a la línea de servicios auxiliares o a la succión de las bombas de agua de circulación.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL CLORADOR U-1, 2, 3 Y 4.

Fig. IV.1.10



- 1.- VALVULA DE ALIVIO DE PRESION-VACIO
- 2.- VACIO DE 330 a 333 mm. (14" a 13") DE AGUA
- 3.- VACIO DE 640 a 640 mm. (25 1/8" a 25") DE AGUA
- 4.- VALVULA REGULADORA DE VACIO
- 5.- ORIFICIO VARIABLE
- 6.- VERTILA
- 7.- LA VALVULA ABRE DE 0 a 9.0 mm. (0" a 3/8") DE PRESION DE AGUA Y 702 a 914 mm. (28" a 36") DE VACIO DE AGUA
- 8.- AJUSTE MANUAL
- 9.- VACIO DE 127 a 178 mm. (5" a 7") DE MERCURIO
- 10.- REVOLTO DEL CLORADOR
- 11.- VALVULA REGULADORA DE PRESION DE GAS
- 12.- ROTAMETRO
- 13.- VACUOMETRO 152 mm. (6") DE MERCURIO BR.
- 14.- AL PUNTO DE APLICACION
- 15.- INYECTOR
- 16.- DISTRIBUIDOR DE AGUA AL INYECTOR
- 17.- VALVULA DE OPERAJE
- 18.- LA VALVULA ALIVIA AL OPERAJE A 309 mm (12") DE PRESION DE AGUA
- 19.- MANOMETRO 0.5 Kg/cm. (10 P. S. I.) MINIMO
- 20.- VACIO DE 303 a 432 mm. (12" a 17") DE AGUA
- 21.- ENTRADA DE CLORO GAS DEL EVAPORADOR

- Verificar nivel del tanque de inhibidores.
- Alinear válvulas de succión y descarga de la bomba a operar.
- Arrancar la bomba seleccionada.
- Verificar por medio de una probeta y un reloj los ml. gastados por minuto y controlar la carrera de la bomba para ajustar la dosificación deseada.

Dosificación de microbicidas y antiespumante.

Estas dosificaciones se hacen a la succión de las bombas de agua de circulación por medio de caoques de acuerdo y en la cantidad al programa elaborado para el tratamiento de cada torre.

PARAMETROS DE CONTROL.

Análisis.

Para un tratamiento químico adecuado en las torres de enfriamiento se realizan análisis rutinarios de los siguientes parámetros: sílice, pH, conductividad, alcalinidad a la "F", alcalinidad a la "M", cloruros, dureza total, dureza de magnesio, dureza de calcio, fosfatos y cloro residual. Dependiendo de los resultados de los parámetros anteriores, la dosificación de los productos químicos continuará igual o se modificará para evitar problemas de incrustación, corrosión y depósitos.

Sílice.

Este compuesto ocasiona incrustaciones severas en el condensador que bajará notablemente la transferencia de calor si no se mantiene en el rango de 100 a 180 ppm. El límite inferior es con el fin de dar un uso costeable al agua de enfriamiento.

Si se rebasa el límite superior se debe abrir la purga de la torre hasta valores dentro del parámetro.

pH.

La acidez o alcalinidad se detecta mediante este parámetro y debemos controlarlo de 7.5 a 7.9 con ácido sulfúrico para minimizar la-

alcalinidad del agua de enfriamiento y evitar la incrustación.

Pero no debemos rebasar el límite inferior por que de lo contrario beneficiaríamos la corrosión, en el condensador y el equipo del sistema de enfriamiento.

Conductividad.

La conductividad nos es útil para determinar el índice de estabilidad (I.E.) y representa la proporción de sólidos disueltos totales en el sistema. Se establece un límite superior de 4,000 micro-mohs/cm² o se fija de acuerdo al índice de Langelier o del índice de Ryzner.

Alcalinidad a la fenolftaleína "F" y anaranjado de metilo "M".

Este parámetro se controla para evitar problemas de incrustación en el condensador ya que los carbonatos y bicarbonatos favorecen la incrustación.

El ácido sulfúrico reduce en gran cantidad la alcalinidad y con análisis rutinarios podemos controlar mejor este parámetro, se utiliza también para el cálculo del índice de Langelier.

Dureza total, calcio y magnesio.

Este parámetro nos indica la concentración de éstos iones y se controla por medio de purgas para prevenir la incrustación, dependiendo ésta también de los resultados de alcalinidad y pH (índice de Langelier).

Cloro.

Se determina la cantidad de cloro residual para conocer y controlar la efectividad de la cloración, la cual realiza hasta tener valores entre 1 y 2 ppm.

alcalinidad del agua de enfriamiento y evitar la incrustación.

Pero no debemos rebasar el límite inferior por que de lo contrario beneficiaríamos la corrosión, en el condensador y el equipo del sistema de enfriamiento.

Conductividad.

La conductividad nos es útil para determinar el índice de estabilidad (I.E.) y representa la proporción de sólidos disueltos totales en el sistema. Se establece un límite superior de 4,000 micromohs/cm² o se fija de acuerdo al índice de Langelier o del índice de Ryzner.

Alcalinidad a la fenolftaleína "F" y anaranjado de metilo "M".

Este parámetro se controla para evitar problemas de incrustación en el condensador ya que los carbonatos y bicarbonatos favorecen la incrustación.

El ácido sulfúrico reduce en gran cantidad la alcalinidad y con análisis rutinarios podemos controlar mejor este parámetro, se utiliza también para el cálculo del índice de Langelier.

Dureza total, calcio y magnesio.

Este parámetro nos indica la concentración de éstos iones y se controla por medio de purgas para prevenir la incrustación, dependiendo ésta también de los resultados de alcalinidad y pH (índice de Langelier).

Cloro.

Se determina la cantidad de cloro residual para conocer y controlar la efectividad de la cloración, la cual realiza hasta tener valores entre 1 y 2 ppm.

IV.2 SISTEMA DE CONDENSADO

Las funciones principales de este sistema son el de

Extraer el agua de condensado del pozo caliente para enviarlo a través de la bomba de condensado al desaireador, suministrar agua de repuesto al ciclo o enviar los excedentes de agua de condensador al tanque de almacenamiento de condensado para mantener el nivel normal de agua en el pozo caliente del condensador principal.

Entre las funciones auxiliares del sistema de condensado se pueden contar las siguientes: suministro de agua de condensado por sellos, atemperaciones y llenado inicial a diferentes equipos del ciclo, regeneración parcial del ciclo de vapor, al calentarse el agua de condensado en los diferentes intercambiadores de calor, con que se encuentra en su trayectoria al desaireador.

DESCRIPCION DEL EQUIPO PRINCIPAL(Fig. IV.2.1)

TANQUE DE REPUESTO DE CONDENSADO

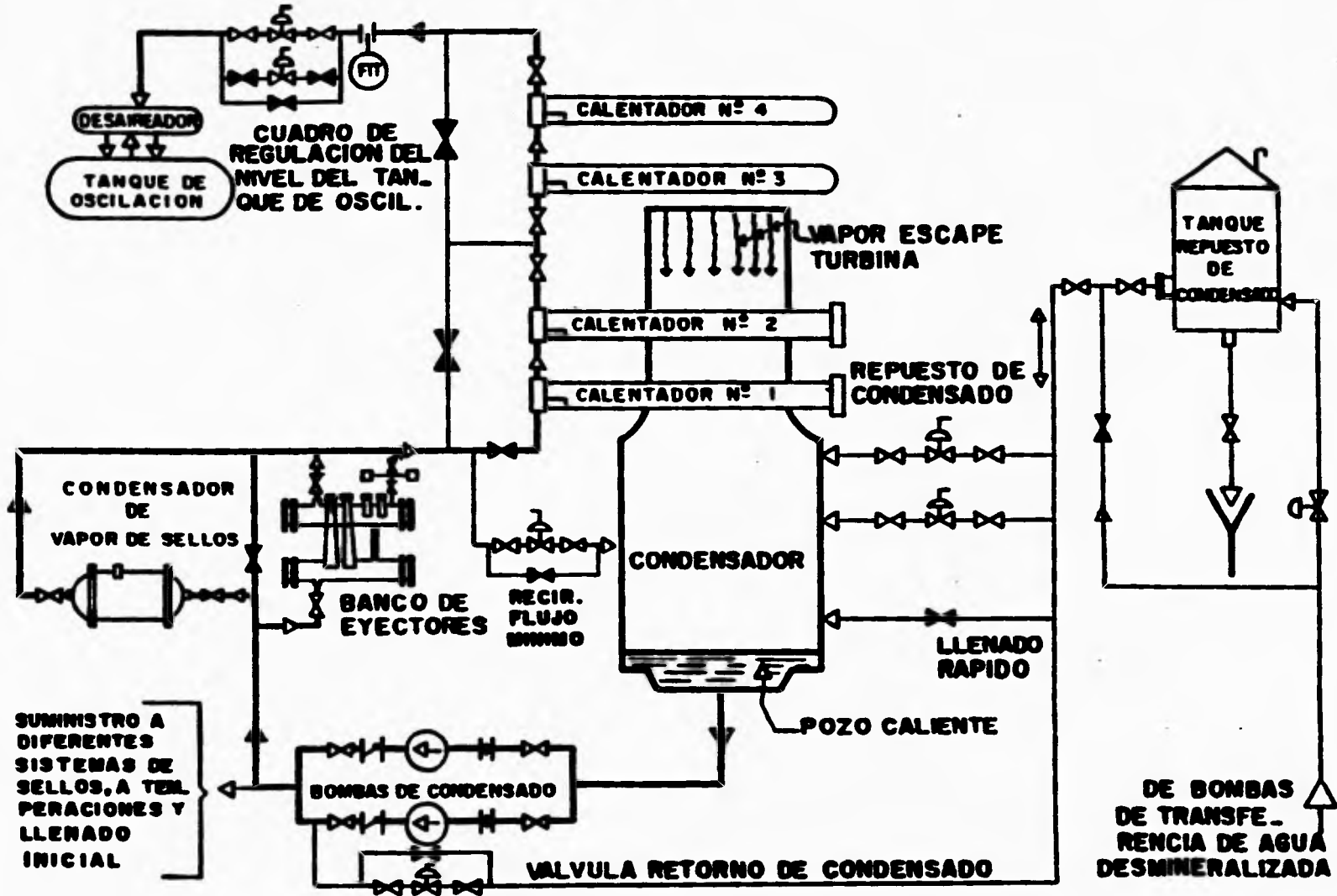
Este tanque es cilíndrico vertical con techo cónico, construido con láminas de acero soldadas entre sí, con un volumen total de 887 m³, suficientes para abastecer la unidad máxima carga por cinco días de operación normal.

Cuenta con venteo, derrame, dren, indicador de nivel y alarma de nivel bajo. Al tanque repuesto de condensado también le llaman Tanque Almacenamiento de Condensado.

Este tanque, recibe el suministro de agua del tanque de almacenamiento de agua desmineralizada o en su defecto de la planta desmineralizadora, para recuperar y mantener su nivel normal garantizando así, el suministro de condensado al pozo caliente. También recibe el excedente de agua del condensador cuando se tiene alto nivel en el pozo

DIAGRAMA SIMPLIFICADO " SISTEMA CONDENSADO "

Fig. IV.2.1



131

caliente. El tanque de almacenamiento de condensado suministra el agua de repuesto al ciclo, para mantener nivel normal en el pozo caliente, manda la señal correspondiente para que abran las válvulas de repuesto de condensado, permitiendo el paso del agua del tanque de repuesto de condensado al pozo caliente.

El agua de repuesto es el equivalente a todas las pérdidas de vapor y agua del ciclo.

Cabe aclarar que, la línea de repuesto del tanque de condensado al pozo caliente sirve no solamente para suministrar agua de repuesto al condensador, sino también, para recibir el excedente de agua del nivel del pozo caliente.

CONDENSADOR PRINCIPAL.

El condensador principal se encuentra, directamente bajo de la turbina de baja presión, unido herméticamente a ella por una junta de expansión y apoyado en la parte inferior por soportes rígidos. La junta de expansión sirve para compensar o absorber las dilataciones y contracciones térmicas de la turbina y del condensador.

El condensador principal es un intercambiador de calor tipo superficie, el vapor no se mezcla con el agua de enfriamiento, compuesto de dos secciones en donde el agua de enfriamiento hace un recorrido en "U" por lo que se le designa de dos pasos. Por el interior de los tubos pasa el agua de enfriamiento (agua de circulación) y por el exterior de los tubos el vapor de escape de la turbina de baja presión, con una superficie activa de transferencia de calor de 12,077 m².

Según la distribución de los tubos es de tipo delta, como se muestra en la (Fig. IV.2.2). En el cuerpo del condensador se tiene dos tomas de gases incondensables, una a cada lado.

En la parte inferior del cuerpo del condensador se tiene un área de recepción y acumulación de condensado, a la que se le llama pozo caliente. La capacidad del pozo caliente es de 42,963 lts. con una

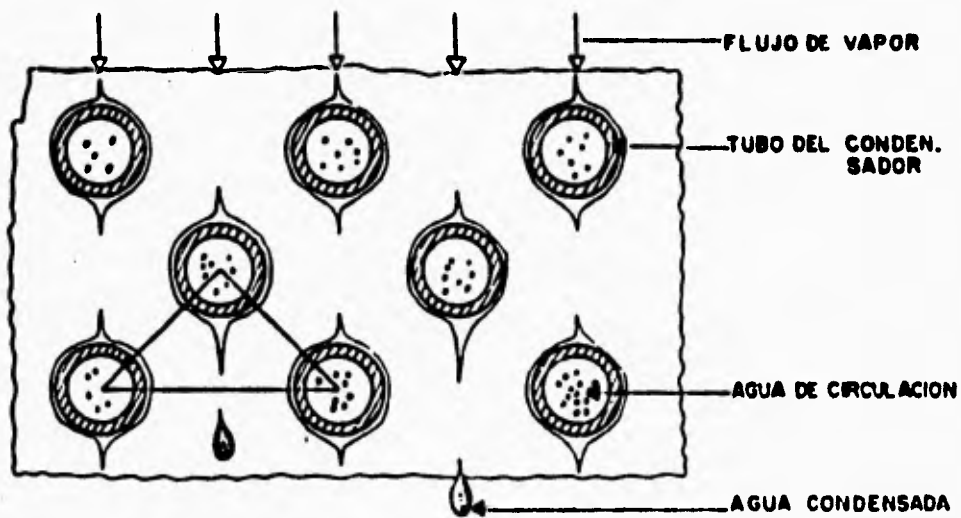


FIG. IV.2.2 ARREGLO EN DELTA DE LOS TUBOS DEL CONDENSADOR

salida que sirve de succión para las bombas de condensado y otra que sirve como drenaje.

Las funciones principales del condensador son : formar el vacío con la condensación del vapor de escape de la turbina de baja presión y con la evacuación del aire y de los gases incondensables; además, - acumular el condensado en el pozo caliente.

Las ventajas más relevantes de los condensadores de superficie son:

- Recuperación del condensado para utilizarlo como agua de alimentación en el generador de vapor.
- Disminución de la presión de escape de la turbina para aumentar la energía utilizable (vacío).
- Evacuación desaireación del mayor porcentaje de aire y gases incondensables, aproximadamente el 89% del total.
- El vacío se logra por el cambio de fase de vapor líquido.

El condensador recibe principalmente el condensado del vapor de la turbina y de diferentes sistemas de drenes y de derrames, de los cuales a continuación se mencionan los más importantes:

- Drenes de emergencia de los calentadores de alta presión.
- Drenes normales y de emergencia de los calentadores de baja presión.
- Drenes de las líneas principales de vapor (sobrecalentado, recalentado frío y caliente)
- Drenes de turbina (del bloque de orificios, del paso curtis y de la carcasa).
- Drenes del regulador de vapor de sellos.
- Drenes de los calentadores de aire a vapor.
- Cabezal de drenes lado turbina, de extracciones.
- Cabezal de drenes lado calentadores, de extracciones.
- Cabezal de drenes misceláneos
- Drenes del condensador de vapor de sello.
- Derrames del tanque de oscilación.
- Llenado rápido del pozo caliente.

- Recirculación de flujo mínimo de las bombas de condensado.
- Repuesto de condensado.
- Llegada del tanque colector de agua de sellos de las bombas de agua de alimentación.
- Venteo del primer paso de bombas de condensado.
- (Línea igualadora de vacío)
- Drenaje de condensado del vapor de eyectores.

El condensador cuenta con un sistema de control de nivel del pozo caliente que le permite mantener el nivel normal en cambios y rechazos de carga, así como en operación normal.

La válvula de retorno de condensado, responde a una señal de alto nivel, abriendo para retornar al tanque de repuesto de condensado el excedente de agua del pozo caliente aprovechando la presión de descarga de la bomba de condensado.

Las válvulas de repuesto de condensado abren de acuerdo a la señal de bajo nivel para suministrar agua de repuesto del tanque de condensado al pozo caliente. Mientras abre la válvula de repuesto de condensado, la válvula de retorno condensado permanece cerrada y viceversa. Cabe hacer notar, que el flujo de agua de repuesto de condensado, fluye por gravedad aprovechando la altura estática del tanque hacia el condensador y por la succión que ejerce el vacío del condensador en la columna de agua de la línea del tanque.

El condensador principal cuenta con las alarmas siguientes:

- Pozo caliente nivel bajo.
- Pozo caliente nivel alto
- Condensador vacío bajo
- Válvula rompedora de vacío condensador sobrecarga.

A continuación se dan unos datos de placa del condensador marca Seecomex, tipo "Delta" de dos secciones (Tabla IV.2.1):

Por último se dirá que un buen diseño del condensador de superficie debe cumplir por lo menos con los requisitos siguientes:

- El vapor debe entrar en el condensador con la menor resistencia posible, y la caída de presión a través del mismo deberá

LADO VAPOR (CUBIERTA)		LADO AGUA CIRCULACION (TUBOS)	
Flujo de vapor	639.105 Tm/hrs	Suministro de agua	Agua de circulación
Presión de operación (absol.)	9 KPa (67.31 mmHg)	Presión de prueba	Caja de agua a 378.5 KPa
Presión de cubierta	103 KPa	Flujo agua circulación	159,966 Lt/min
Presión de prueba	cub. llena de agua	Temp. entrada agua circ.	23.60° C
Superficie de transferencia de calor	12,077 M ²	Temp. salida agua circ.	16.40° C
Nivel normal del pozo caliente	457.2 mm (18 pulg)	Nº de pasos	2
Calor latente	1'240,291 Joule/Kg (533 KCal/Kg)	Nº de tubos	14,635
Factor de limpieza	0.85	º Diám. ext. del tubo	25.4 mm
Temperatura entrada	43.73° C	Velocidad	198.12 CM/sec
Temperatura salida	43.73° C		
MLDT (media logarítmica de la ΔT)	7.77° C	* El material que se usa en el diseño para tubos de agua helada, y de aguas impuras de ríos, es latón Admiralty (70% de cobre, 29% de zinc y 1% de estaño).	

TABLA IV. 2.1

ser reducida al mínimo.

- Los gases, los cuales obstaculizan la transferencia de calor deben evacuarse (desairearse) ininterrumpidamente de las superficies de transferencias de calor.

- Los incondensables deben succionarse en puntos apropiados, - prácticamente libres de vapor de agua. Menor T y Mayor P.

- La evacuación de los incondensables debe realizarse con un - gasto mínimo de energía.

- El condensado obtenido debe evacuarse rápidamente de las superficies transmisoras de calor.

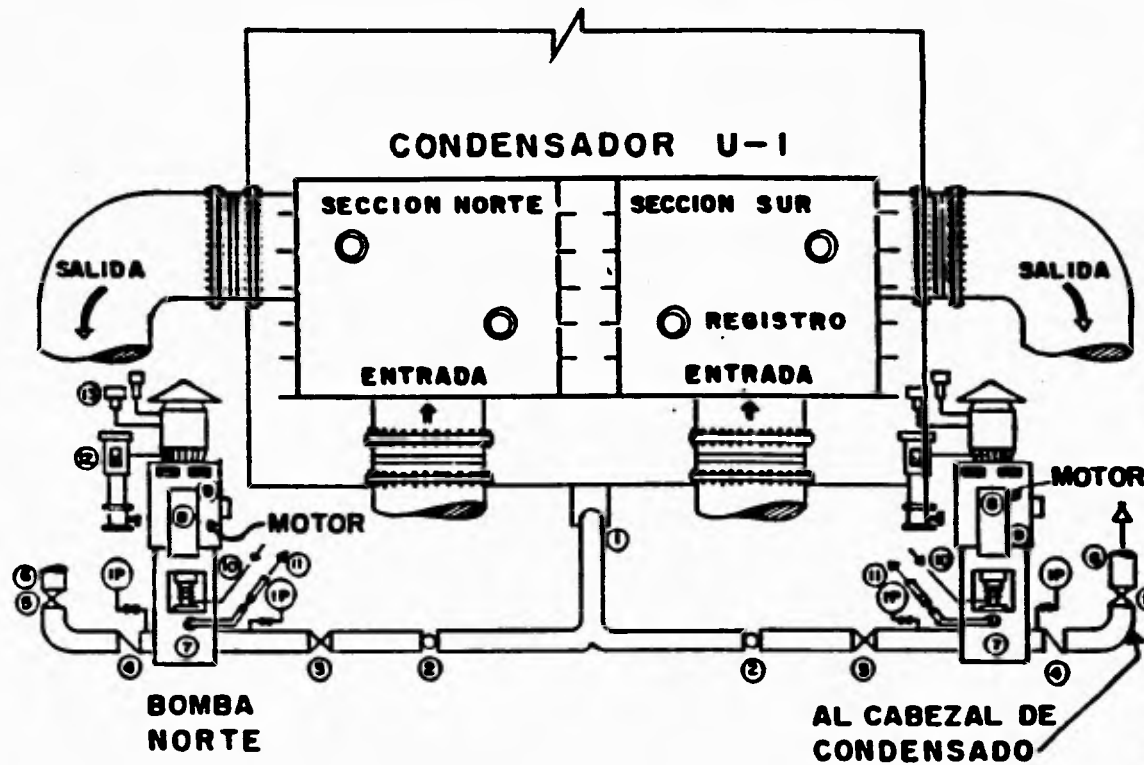
- El agua de circulación, deberá atravesar el condensador con un rozamiento reducido, dejando un mínimo de sedimentos y con una absorción de calor máxima. No debe provocar depositación.

BOMBAS DE CONDENSADO.

Las bombas de condensado son dos y se encuentran físicamente enfrente del condensador (lado entrada agua circulación), están unidas al condensador por una tubería de diámetro exterior de 20 pulgadas. Esta línea viene del pozo caliente, bifurcándose en dos líneas; en cada línea se encuentra: una válvula manual de compuerta, un carrete para montaje de filtro cónico temporal y una junta de expansión, para terminar en la succión de la bomba de condensado respectiva.

Por la conexión, antes descrita, se puede decir que las bombas están en paralelo (Fig. IV.2.3).

Las bombas de condensado son centrífugas verticales, tipo barril de 5 pasos tal como se muestra en la (Fig. IV.2.4). accionadas por un motor eléctrico. Cada bomba es de 100% de capacidad, la bomba está soportada por una base que forma parte del barril, el motor - está soportado por el cabezal de descarga y está acoplado con la bomba por medio de un cople rígido y ajustable.



- ① _DESCARGA DEL POZO CALIENTE.
- ② _FILTRO DE LA SUCCION
- ③ _VALVULA DE BLOQUEO
- ④ _VALVULA NO RETORNO
- ⑤ _VALVULA DE BLOQUEO DE LA DESCARGA
- ⑥ _DESCARGA DE LA BOMBA
- ⑦ _BOMBA DE CONDENSADO
- ⑧ _CAJA DE CONEXIONES ELECTRICAS
- ⑨ _MOTOR ELECTRICO
- ⑩ _AGUA DE SELLO
- ⑪ _VENTEO AL CONDENSADOR
- ⑫ _INDICADOR DE NIVEL DE ACEITE LUBRICANTE
- ⑬ _VENTEOS DE VAPOR DE ACEITE

FIG. IV. 2. 3 DISPOSICION DE BOMBAS DE CONDENSADO

CARACTERISTICAS DE LA BOMBA Y SU MOTOR.

BOMBA

- Marca : Byron Jackson
- RPM : 1, 760
- Flujo : 13,860 Lt/min.
(3,062 G.P.M.)
- Carga Dinámica : 206 m.

MOTOR DE INDUCCION

- Marca : Toshiba
- Volts : 4,000 voltaje
- Potencia : 800 H.P.
- Frecuencia : 60 hz.
- AMP : 102 A.
- RPM : 1,780
- Fases : 3

Los motores de cada bomba de condensado están protegidos por un relevador de corriente, el cual dispara el interruptor para desenergizar el motor, en caso de que éste tome corriente excesiva debido a fallas de aislamiento o sobrecargas.

En la línea de la descarga de cada bomba de condensado se cuenta con dos válvulas, una de no-retorno y otra de compuerta; la primera sirve para evitar que gire en sentido inverso y la segunda de bloqueo manual. Posteriormente la línea de la descarga de cada bomba se une en un cabezal común (ver diagrama simplificado), en donde se encuentran las tomas de señal de instrumentación del control lógico de las bombas, las cuales son las siguientes: alarma baja presión e interruptores de presión para arranque automático.

CARACTERISTICAS DE LA BOMBA Y SU MOTOR.

BOMBA

- Marca : Byron Jackson
- RPM : 1, 760
- Flujo : 13,860 Lt/min.
(3,062 G.P.M.)
- Carga Dinámica : 206 m.

MOTOR DE INDUCCION

- Marca : Toshiba
- Volts : 4,000 voltaje
- Potencia : 800 H.P.
- Frecuencia : 60 Hz.
- AMP : 102 A.
- RPM : 1,780
- Fases : 3

Los motores de cada bomba de condensado están protegidos por un relevador de corriente, el cual dispara el interruptor para desenergizar el motor, en caso de que éste tome corriente excesiva debido a fallas de aislamiento o sobrecargas.

En la línea de la descarga de cada bomba de condensado se cuenta con dos válvulas, una de no-retorno y otra de compuerta; la primera sirve para evitar que gire en sentido inverso y la segunda de bloqueo manual. Posteriormente la línea de la descarga de cada bomba se une en un cabezal común (ver diagrama simplificado), en donde se encuentran las tomas de señal de instrumentación del control lógico de las bombas, las cuales son las siguientes: alarma baja presión e interruptores de presión para arranque automático.

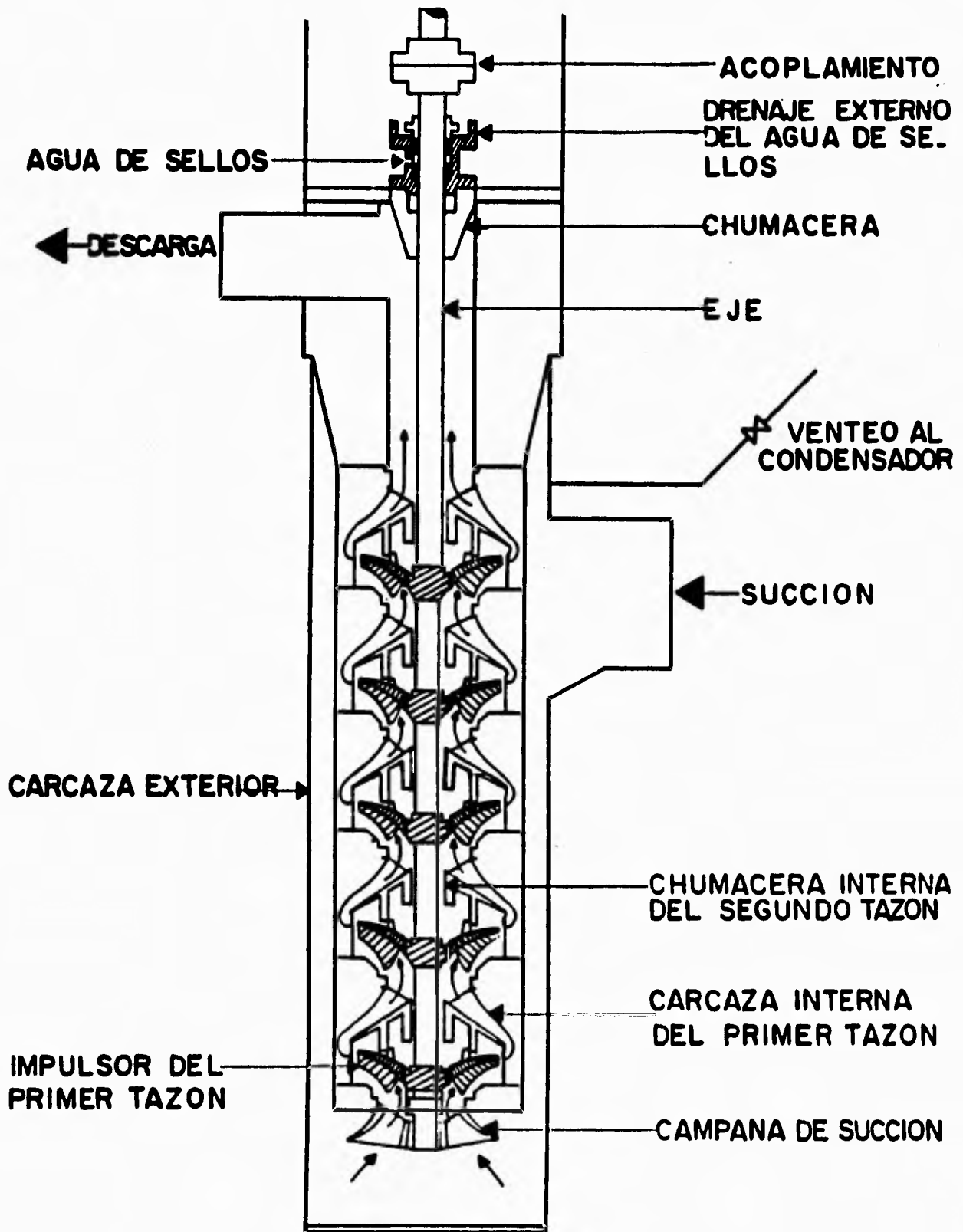


FIG. IV. 2. 4 CORTE DE BOMBA DE CONDENSADO

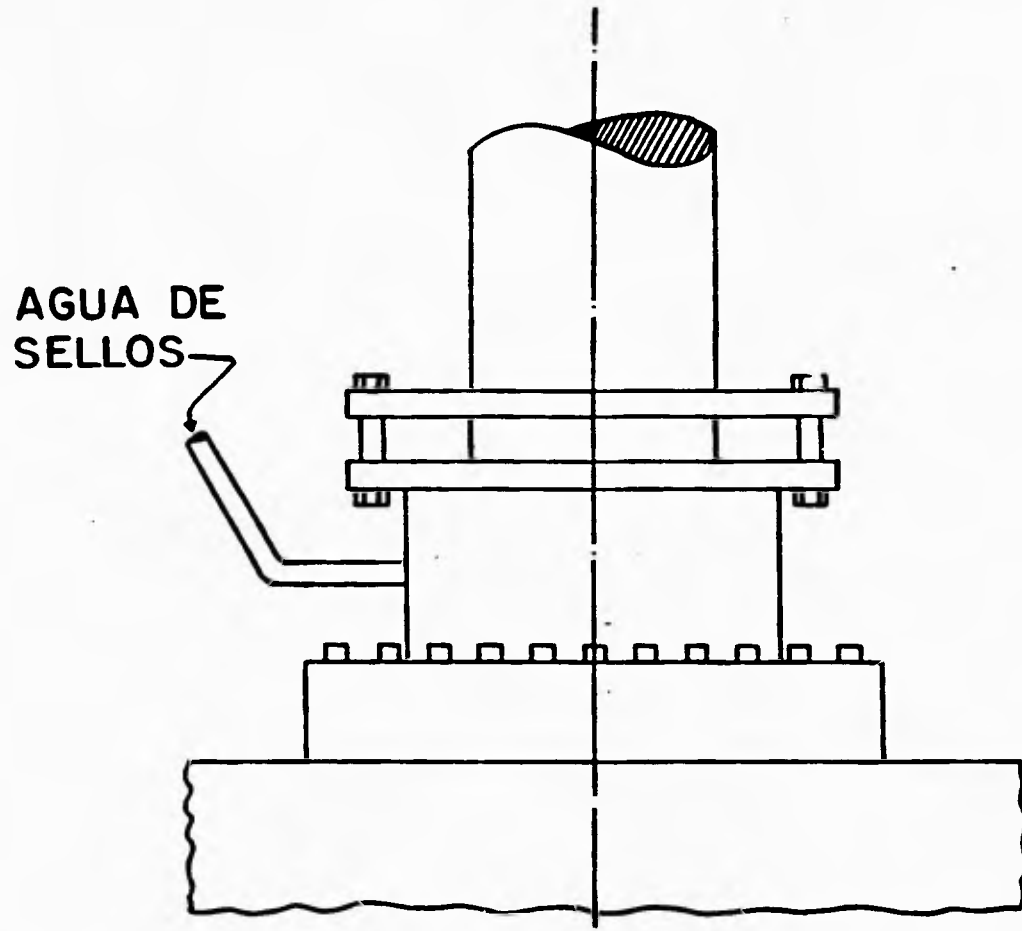


FIG. IV. 2. 5 DETALLE DE SELLOS DE AGUA

La función principal de la bomba de condensado es extraer el agua de condensado del pozo caliente para enviarlo al desaireador a través del equipo siguiente:

- Condensador de vapor de sellos.
- Banco de eyectores.
- Calentadores Nos. 1, 2, 3, y 4.

EQUIPOS QUE AUMENTAN LA TEMPERATURA DEL FLUJO DE AGUA DE CONDENSADO AL PASAR POR CADA UNO DE ELLOS.

Se llama proceso regenerativo cuando se toma el calor del vapor para calentar el agua de condensado agua de alimentación. En este tema se tratará el proceso regenerativo del agua de condensado hasta el desaireador.

La bomba de condensado succiona con una presión aproximada de 50 KPq y descarga el cabezal 2.4 Mpa. En la succión de la bomba se cuenta con un venteo conectado al condensador para desalojar el aire que se acumula en esta área (Fig. IV.2.4.)

En el cabezal de la descarga está tomada una línea que va a los sellos de agua del prensaestopa de la flecha de cada bomba, para garantizar la hermeticidad de la misma (evitar entradas de aire) y para lubricación y enfriamiento entre la flecha y estopero. Además de esta toma se cuenta con otros suministros auxiliares a otros sistemas y equipos los cuales son los siguientes:

- Inundado de calentadores Nos. 1 y 2
- Sellos válvula rompedora de vacío
- Sello de válvulas que convergen al condensador.
- Atemperación de drenes de vapor principal
- Area de dosificación química
- Sistema de sellos de bombas de agua de alimentación
- Llenado inicial del generador vapor/vapor
- Atemperación del desvío del vapor auxiliar del generador vapor/vapor

- Atemperación del vapor de sellos de la turbina de baja presión
- Atemperación del dren del regulador de vapor de sellos.

Más adelante, en la línea de descarga de condensado se encuentran dos líneas que sirven para dosificación química al agua de condensado, una es para la hidrazina y la otra para el amoniaco. La línea continua en dirección al condensador de vapor de sellos y al banco de eyectores.

Siguiendo la trayectoria de la línea de condensado se llega a un punto donde se divide en tres ; una que va al condensador vapor de sellos, otra que va al banco de eyectores y la otra que sirve como desvío común (By-pass) de estos equipos. El condensador de vapor de sellos y el banco de eyectores están en conexión paralela lado agua.

CONDENSADOR DE VAPOR DE SELLOS.

El condensador de vapor de sellos es un intercambiador de calor pequeño, de 65 M² de transferencia de calor, tipo superficie, vapor/agua, de tubos rectos de un paso lado agua. Por el interior de los tubos circula el agua de condensado y por el exterior el vapor. Cuenta con válvula de seguridad drenes, venteos y nivel de cristal lado agua.

El objetivo de este condensador es mantener en él una presión ligeramente menor a la atmosférica (7.00 kPa) para que el vapor a la salida de los sellos laberínticos, en los extremos de las carcazas, y el vapor de sellos de los vástagos de las válvulas de la turbina, fluya hacia él para que se condense y así recuperarlo, el vapor de sellos es admitido a la sección de condensación pasando entre los tubos hasta condensarse. El vapor condensado se regresa al condensador principal por un dren a través de una trampa de vapor (Fig. IV.2.6).

Los incondensables son expulsados a la atmósfera por uno de los ventiladores (exhaustores) que se encuentran; instalados sobre el condensador de vapor de sellos.

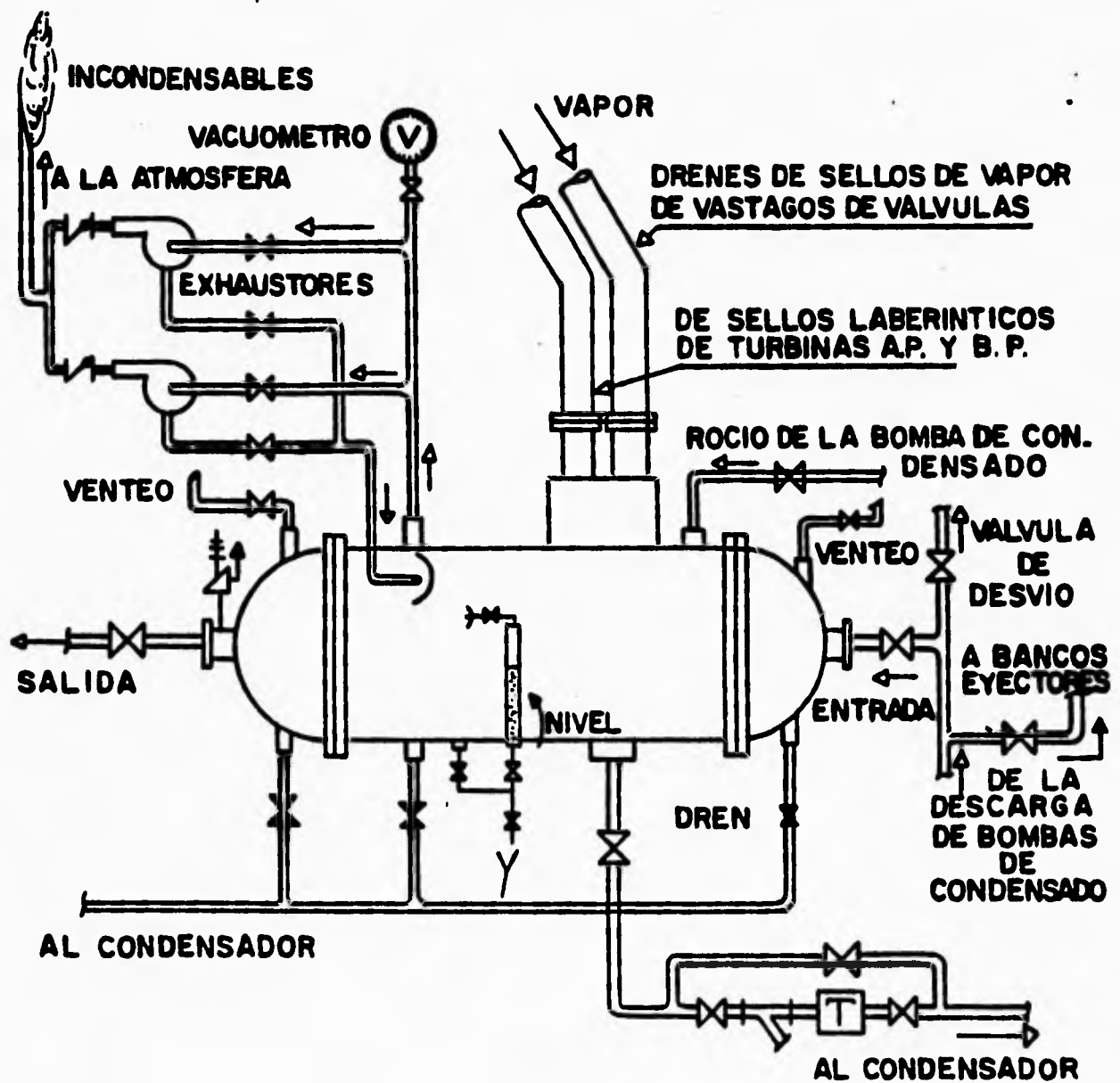


FIG. IV.2. 6 CONDENSADOR DE VAPOR DE SELLOS

Cuando se requiere suspender el flujo de agua de condensado al condensador de vapor de sellos (para hacer alguna reparación), se dispone de una línea de rocío, que viene de la descarga de las bombas de condensado, sobre las entradas de vapor de sellos, con la cual se efectúa una aspersión de agua sobre el vapor de sellos que va entrando hasta condensarlo. El aire y los gases incondensables continuarán descargándolo a la atmósfera por el exhaustor que se encuentre en servicio. La conexión de los exhaustores es un paralelo, lo que permite tener uno en servicio mientras el otro está en reserva.

Estos ventiladores son del tipo centrífugo, impulsados por motor eléctrico, montados en la tubería de desfoque para facilitar la acción de condensación mediante la evacuación de gases no condensables (CO_2 , CO , O_2 , etc.). Estos exhaustores mantienen un ligero vacío en todas las condiciones de operación. La capacidad de evacuación de cada exhaustor es de $40 \text{ m}^3/\text{min.}$ y las características del motor son: 11 KW, 460 V. 18 AMP, 60 ciclos y 3,490 RPM.

Estando en operación el condensador de vapor de sellos es necesario revisar periódicamente su nivel, ya que un nivel alto podría provocar disparo por sobrecarga en los exhaustores, provocando una sobrepresión en los sellos de la turbina y el riesgo de retorno de condensado a los mismos. Un nivel bajo provocaría que se pierda el espejo de agua en el condensador de vapor de sellos y por lo tanto, la pérdida de vacío en el condensador principal.

EYECTORES DE AIRE.

La succión y expulsión de la mezcla de aire y gases incondensables del condensador se efectúa por medio de bombas de vacío a las cuales se les llama eyectores.

Se conocen como eyectores tipo chorro de vapor los que funcionan a base de vapor y los de tipo chorro de agua.

En el presente tema se estudiará sólo el primero. (la diferencia de una bomba de aire y el eyector estriba en que la bomba de aire utiliza un pistón o impulsor centrífugo dependiendo el tipo, de la bomba, para succionar el aire y gases del condensador, mientras que el eyector a chorro (jet) utiliza el flujo de vapor a alta velocidad, para succionar el aire y gases del condensador).

El eyector de aire tipo chorro de vapor es el más difundido y utilizado en las unidades generadoras, que operan con un vacío alto y continúa en el condensador principal destacando las ventajas siguientes: Compactividad, Efectividad y Rapidez.

EYECTORES DE ARRANQUE.

El funcionamiento del eyector (Fig. IV.2.7) de un paso, se basa en el suministro de vapor a una tobera que descarga un chorro de vapor a la cámara de succión, la cual se une por un lado, con la tubería al condensador. En dicha cámara se efectúa la succión del aire y gases incondensables arrastrados por el vacío y la alta velocidad provocada por la caída de presión del chorro de vapor. Antes de la garganta la velocidad de la mezcla se convierte en un aumento de presión comprimiendo dicha mezcla a una presión absoluta mayor para descargar a la atmósfera.

La función de este eyector es extraer el aire del condensador para hacer el vacío necesario para rodar la turbina en arranques o para mantenerlo dentro del rango normal de operación de la unidad. Este eyector opera con 2.1 MPa y 260°C en el vapor.

BANCO DE EYECTORES DE SERVICIO.

Para tener un vacío con pérdidas mínimas de vapor se emplea un juego de eyectores, el cual está compuesto por el eyector primario y el eyector secundario (Fig. IV.2.8). En cada eyector se suministra por separado, vapor de auxiliares que viene de una línea co-

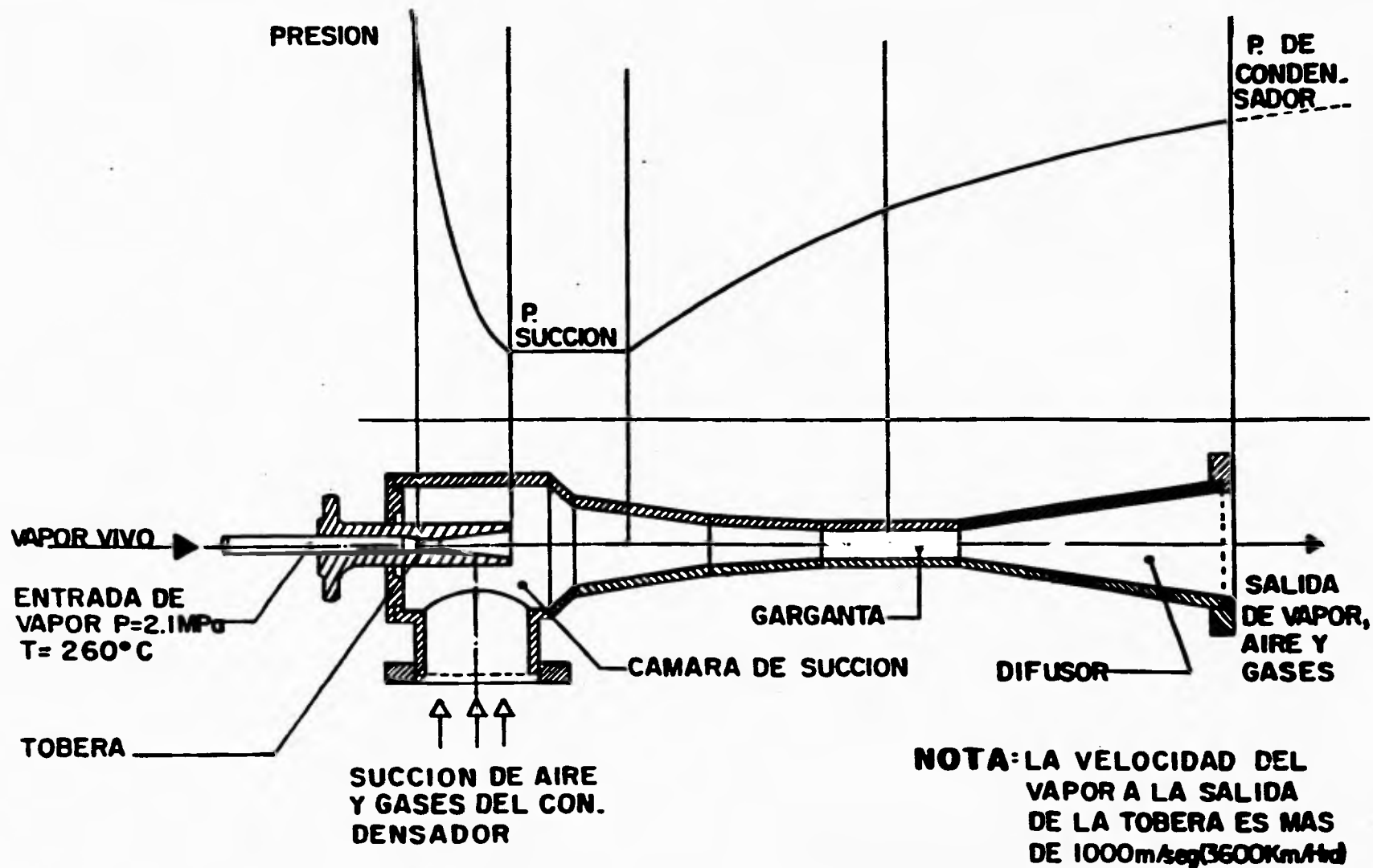


FIG. IV. 2. 7 EYECTOR DE AIRE TIPO CHORRO DE VAPOR

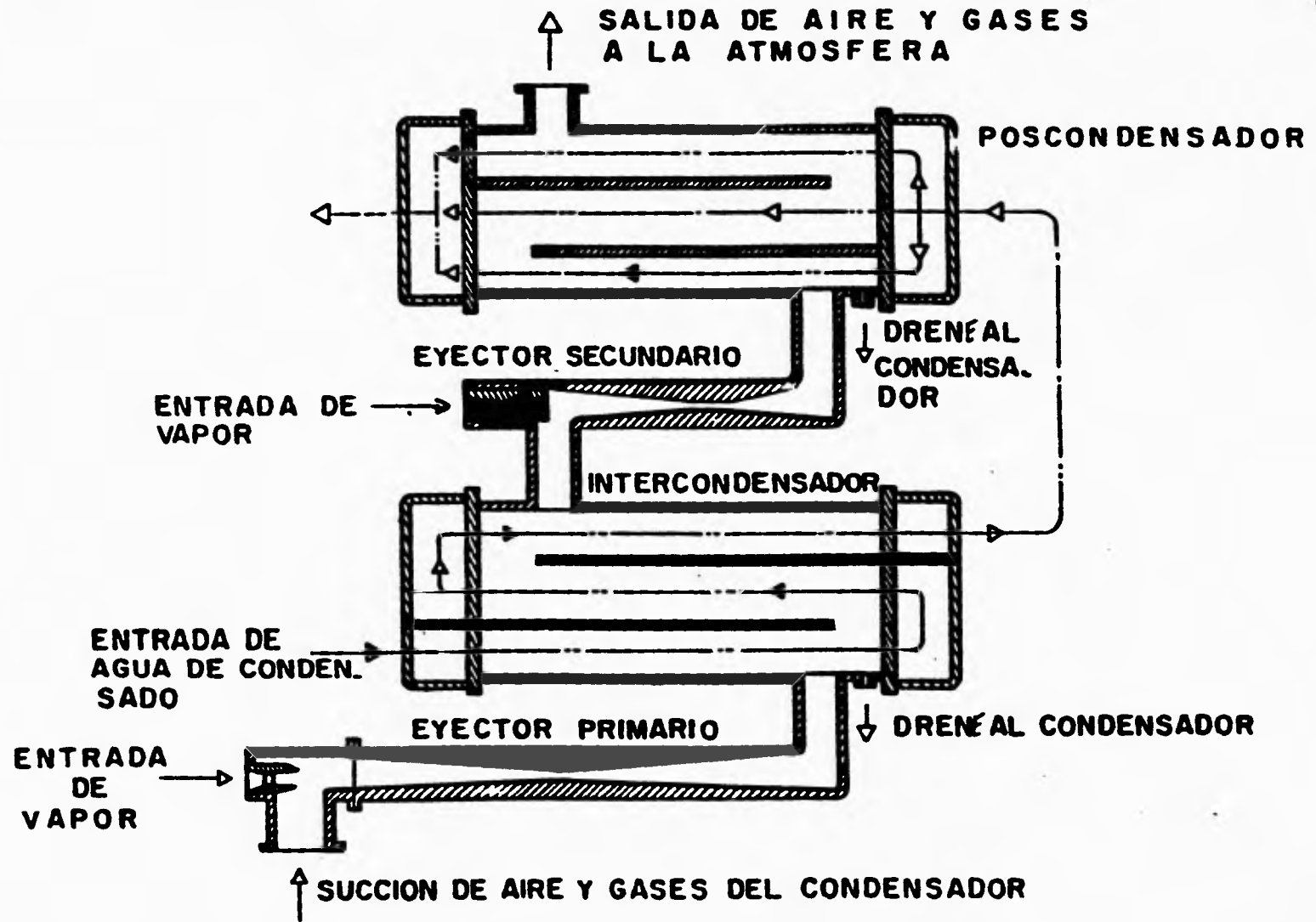


FIG. IV. 2. 8. BANCO EYECTORES DE SERVICIO

mún. La descarga del eyector primario y secundario va al intercondensador y al postcondensador respectivamente para condensar el vapor de la mezcla incondensable, acumularlo y enviarlo a través de sus drenes correspondientes al condensador principal.

Se tienen dos juegos de eyectores, de los cuales uno está en servicio para cualquier carga de la unidad, y el otro de reserva. Como respaldo se tiene el eyector de arranque. (Fig. IV.2.9).

El intercondensador es un calentador de agua de tipo superficie de 3 pasos lado agua. Por el interior de los tubos pasa el flujo de agua de condensado y por el exterior recibe la mezcla de vapor y gases de descarga de el eyector primario.

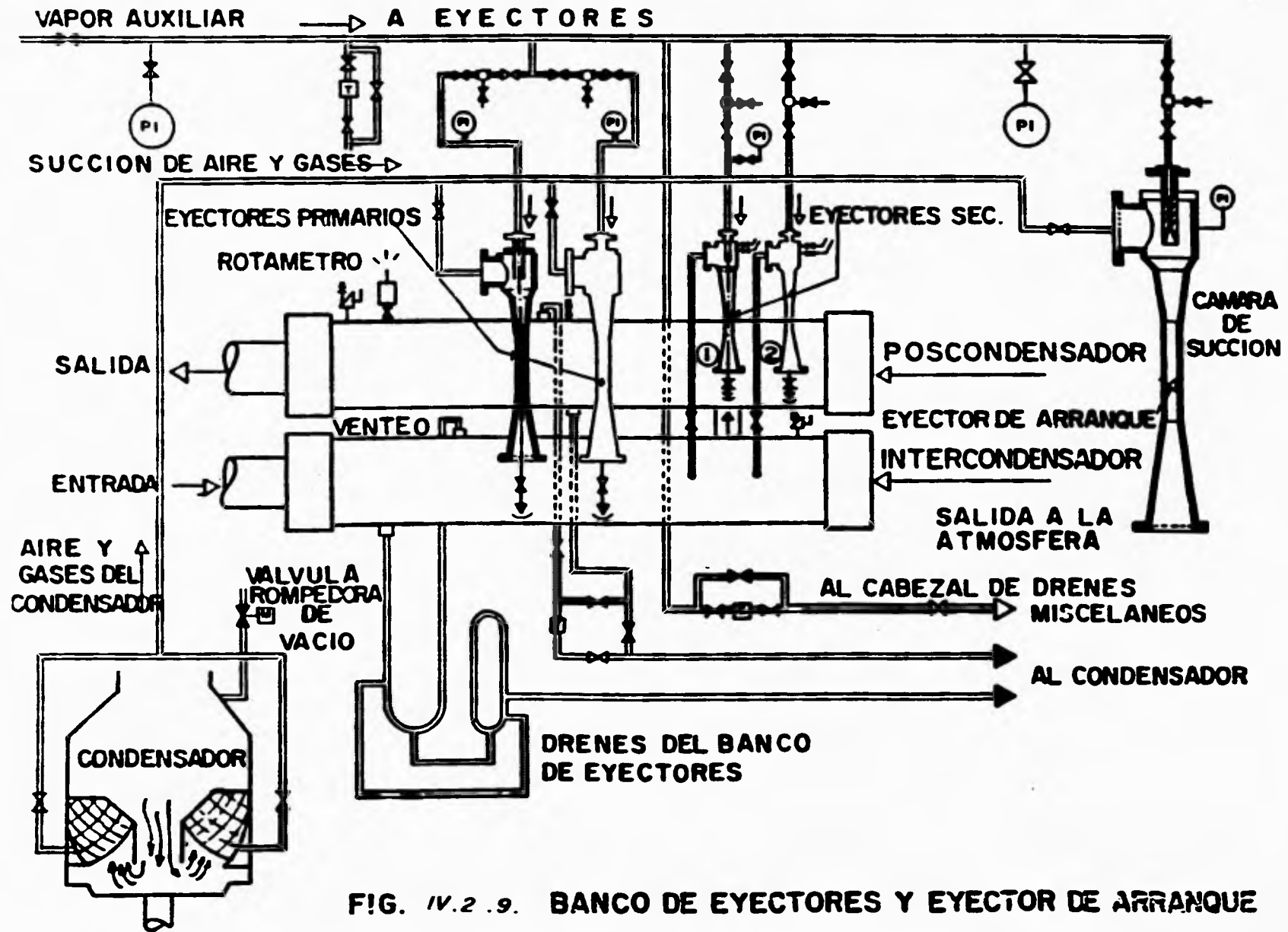
El postcondensador es un calentador de agua de tipo superficie de un paso lado agua. Recibe la mezcla de vapor con incondensables de descarga del eyector secundario.

A fin de facilitar el trabajo de los eyectores y de reducir al mínimo las pérdidas de vapor, la mezcla de incondensables de vapor, deberá ser extraída a presión más elevada (se reducirá el volumen de la mezcla y por lo tanto disminuirá el trabajo de extracción) y a más baja temperatura para extraer el mínimo de vapor. Es por lo tanto en la parte más baja del condensador donde deberán extraerse el aire y gases no condensables (Fig. IV.2.10).

CALENTADORES DE AGUA DE BAJA PRESION.

Los calentadores de agua de baja presión Nos. 1 y 2 están empotrados en el condensador principal cerca del escape de la turbina de baja presión Nos 3 y 4 y se encuentran fuera de la casa de máquinas - abajo del desaireador.

Estos intercambiadores de calorantes mencionados, son del tipo superficie (vapor/agua), con tubos rectos los Nos 1 y 2 en forma de "U" y los Nos 3 y 4 de dos pasos lado agua, con zona de condensación y de subenfriamiento. En la zona de subenfriamiento se tiene menor temperatura en el condensado porque pasan los tubos con el agua más



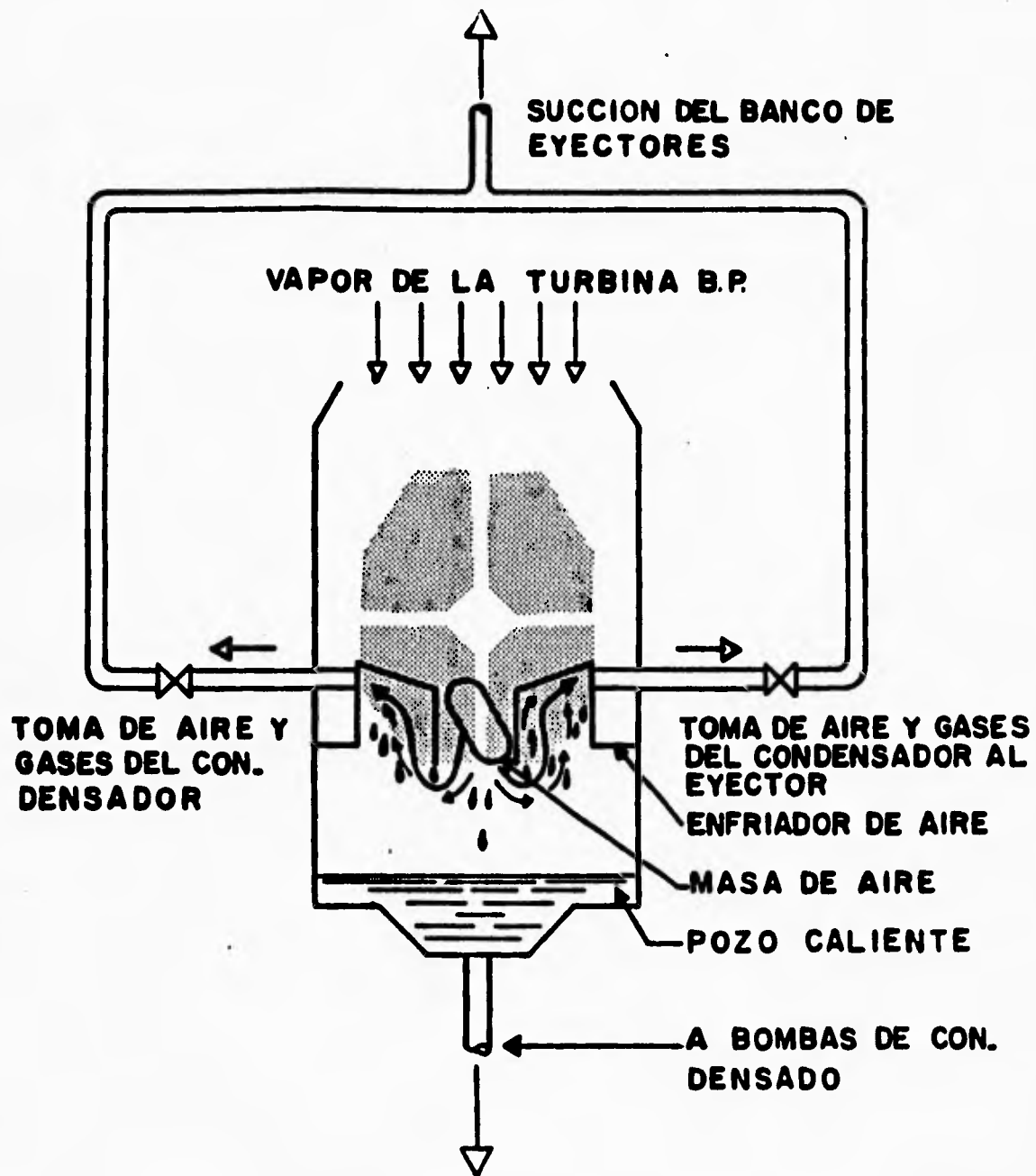


FIG. IV. 2.10 TOMA DE AIRE Y GASES DEL CONDENSADOR

fría. Se lee conoce de baja presión, porque soportan la presión del agua de condensado del orden de 2.0 MPa que es relativamente baja, comparada con la presión de 20,0 MPa que lleva el agua de alimentación al pasar por los calentadores de alta presión.

Además, por el lado vapor, las extracciones de la turbina alimentan los calentadores de baja presión menor que a los calentadores de alta presión.

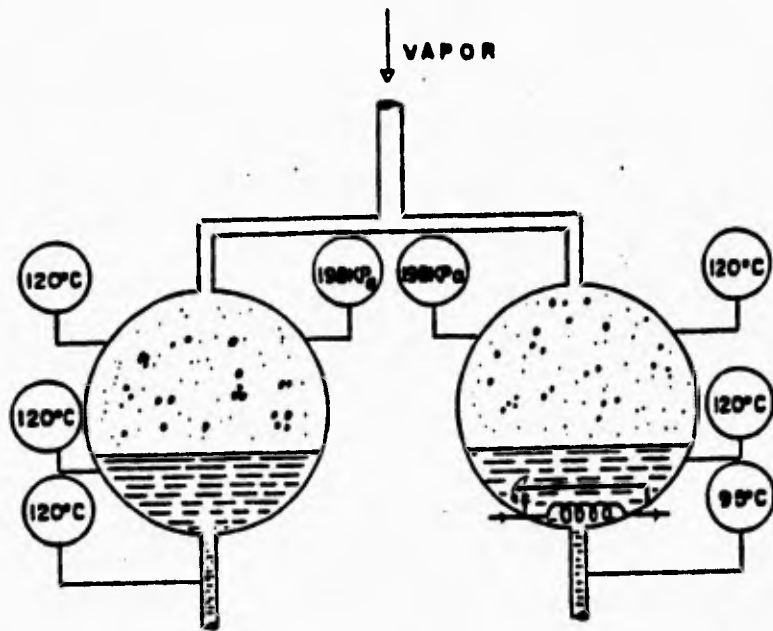
+NOTA:

La temperatura del condensador de vapor se enfría abajo de la temperatura correspondiente a la presión del líquido saturado contenido dentro del calentador, comparar termómetros con drenes de cada calentador de salida (Fig. IV.2.11) en calentadores con zona de subenfriamiento.

En estos calentadores el agua de condensado circula por el interior de los tubos y el vapor de extracción por el exterior. Cuenta con venteos para extraer los gases, los cuales se descargan al condensador principal. Si no se extraen estos gases, se formarán películas de aire alrededor de los tubos, disminuyendo la transmisión de calor.

Cuentan cada uno de ellos, con dos líneas de drenaje equipadas con su respectiva válvula de control, las cuales son operadas por controladores de nivel instalados en el cuerpo del calentador: una de éstas válvulas se encarga de mantener el nivel del agua condensada en su valor normal de operación; la otra válvula empieza a operar cuando la primera válvula no es suficiente y el nivel tiende a subir más de lo normal. La primera válvula de control, descarga su drenes en cascada al calentador inmediato inferior (de menor presión) así sucesivamente hasta el último drenes, del último calentador descarga al condensador principal; a estos drenes se les llaman drenes normal de operación.

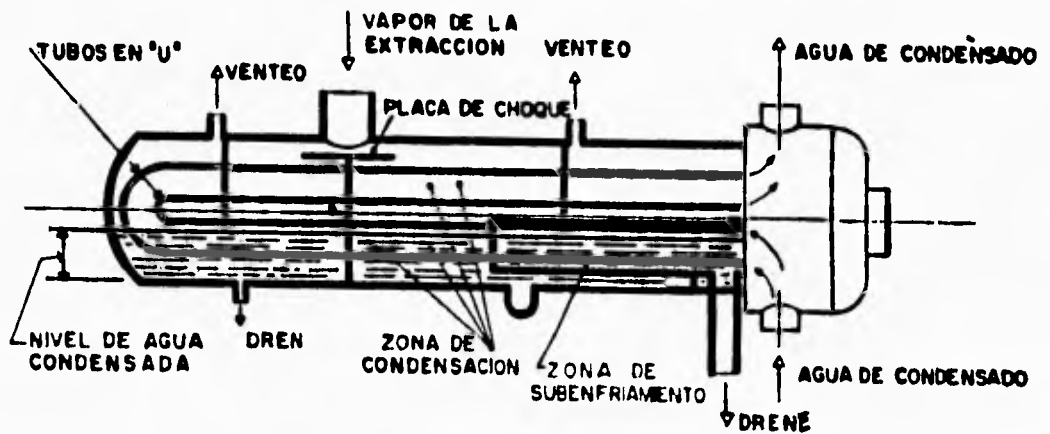
La segunda válvula de drenes de cada calentador descarga individualmente al condensador principal, a este drenes le llaman drenes de emergencia



a) CALENTADOR SIN ENFRIADOR DE DREN SIN ZONA DE SUB. ENFRIAMIENTO)

b) CALENTADOR CON ENFRIADOR DE DREN (CON ZONA DE SUB. ENFRIAMIENTO)

FIG. IV.2.11 CALENTADOR DE AGUA



CALENTADOR DE AGUA DE BAJA PRESION N° 3

DESAIREADOR (Fig. IV.2.12).

Introducción sobre causas y principios del proceso de desaireación

El hierro (Fe) y sus aleaciones se corroen cuando hace contacto simultáneo con el aire y el agua (particularmente con el oxígeno O_2 y gas carbónico CO).

La desaireación tiene por objeto eliminar el oxígeno O_2 y el gas carbónico CO , disueltos en el agua de alimentación para proteger las tuberías de agua de alimentación y al generador de vapor contra las corrosiones.

El oxígeno y el gas carbónico son tanto más peligrosos cuando el agua es más pura, lo que implica la eliminación de los gases disueltos (O_2 , CO y CO_2).

Sin embargo, dada la sensibilidad de las tuberías del generador de vapor de alta presión y teniendo en cuenta una regasificación del agua en el pozo caliente y en el generador de vapor (entradas de aire suministro de agua de repuesto), el sistema cuenta con un desaireador para eliminar la regasificación y, al mismo tiempo, darle un grado más de calentamiento al agua de condensado.

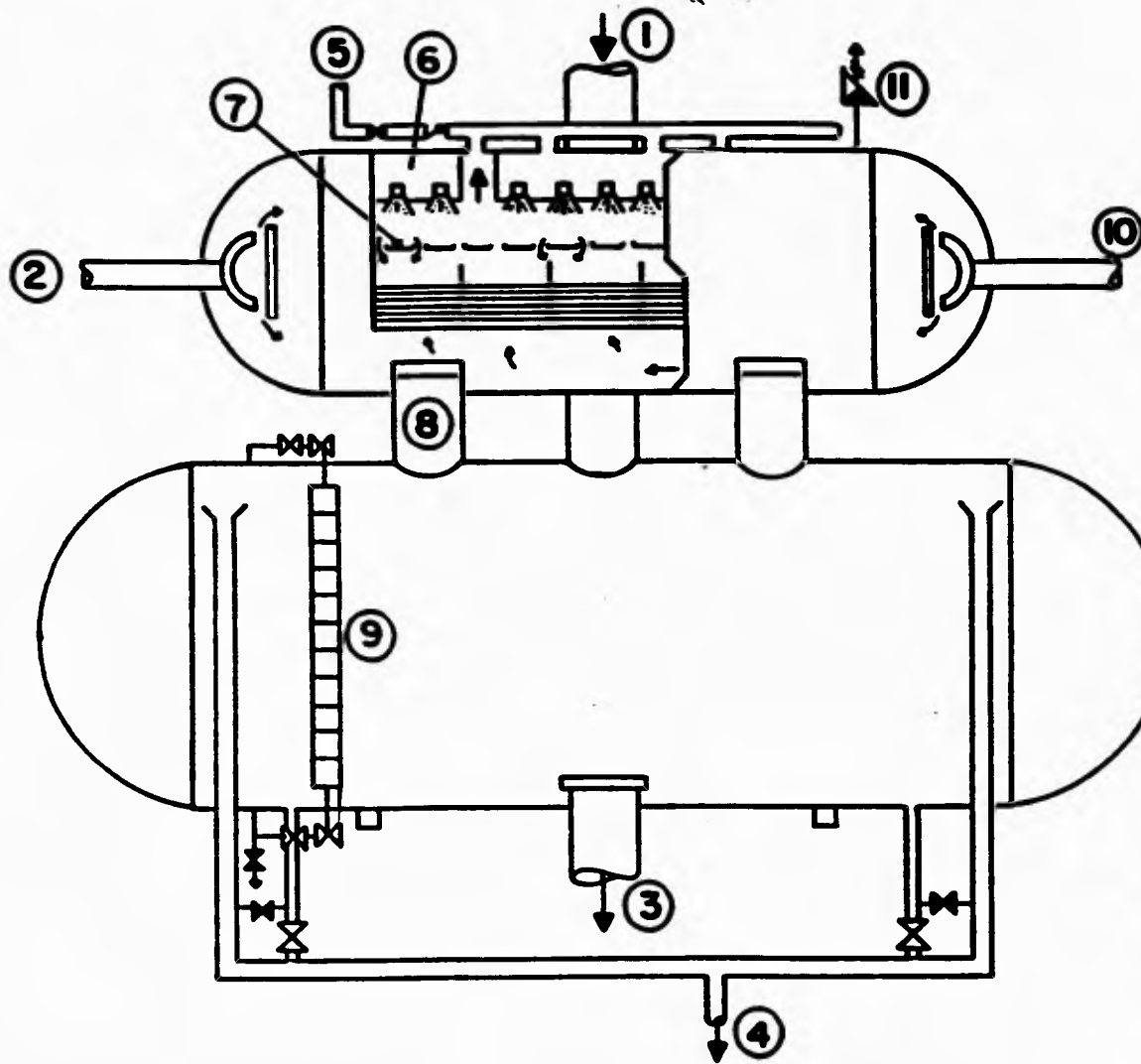
ALGUNAS NOCIONES SOBRE CORROSIONES

El agua y el hierro reaccionan el uno sobre el otro.

- En medio ácido ($PH =$ el hierro se disuelve y la corrosión continuará hasta la desaparición total del hierro o del ácido
Precaución: El gas carbónico afecta principalmente por su acidez y debe ser por lo tanto eliminado.

- En medio debilmente básico ($7 = PH = 0,0$) el hierro se disuelve igualmente, pero, en ausencia del oxígeno, la solución se satura y la disolución viene a ser extremadamente lenta. Precaución: En presencia del oxígeno la auto limitación de la reacción del agua sobre el hierro no existe y la corrosión prosigue.

- En medio fuertemente básico ($10 = PH = 12$) el hierro se trans-



LEYENDA

- ① - SUMINISTRO DE AGUA DE CONDENSADO
- ② - SUMINISTRO DE VAPOR
- ③ - DESCARGA DE AGUA DE ALIMENTACION
- ④ - DERRAME TANQUE DE ALMACENAMIENTO
- ⑤ - VENDEO DESAIREADOR
- ⑥ - VALVULAS DE ROCIO
- ⑦ - DISTRIBUIDORES DE AGUA
- ⑧ - DESCARGA AL TANQUE DE ALMACENAMIENTO
- ⑨ - NIVEL VISUAL TANQUE DE ALMACENAMIENTO
- ⑩ - CONDENSADO DEL GENERADOR VAPOR/V.
- II - VALVULA DE SEGURIDAD

Fig. IV. 2. 12

DESAIREADOR Y TANQUE DE OSCILACION

forma en óxido de hierro (FeO_2) y si éste último forma un depósito adherente y continuo sobre las superficies metálicas, la corrosión se detiene.

- En medio fuertemente básico ($\text{PH} = 12$) el hierro se disuelve en el agua.

Consecuentemente, si se quiere evitar un PH cerca del valor de 12 sobre las superficies de vaporización, es necesario mantener el PH del agua de alimentación en un rango comprendido entre 8.6 y 9.0 simultáneamente es necesario asegurar una desaireación muy intensa del agua si no se quiere correr el riesgo de una corrosión generalizada del circuito. A la salida de los desaireadores el agua debe contener entre 5 a 10 p.p.m. por litro de oxígeno.

Se utilizan dos procedimientos de desaireación: el químico y el físico.

PROCEDIMIENTO QUIMICO

El procedimiento químico no se utiliza actualmente más que como tratamiento complementario del procedimiento físico de desaireación del agua, utilizando para esto productos de la química orgánica, en particular la Hiarazina ya que ésta última no tiene efecto sobre la salinidad del agua.

PROCEDIMIENTO FISICO O POR EVAPORACION

Es el procedimiento básico actual utilizado en las Centrales Térmicas. Comparado con el procedimiento químico, presenta la ventaja de separar el agua no solamente del oxígeno, sino también de los otros gases disueltos en el agua, y particularmente el bioxido de carbono (CO_2) que es muy nocivo.

Para extraer los gases disueltos en el agua es necesario realizar las operaciones siguientes:

- Elevar la temperatura del agua para disminuir la solubilidad

del gas y la viscosidad del agua.

- Dividir el agua en gotas suficientemente pequeñas para que los gases disueltos dispongan de la superficie y del tiempo necesario para escapar del agua así atomizada.

- Hacer tender a cero las presiones parciales de los gases disueltos (a 100°C la tensión del vapor de agua es igual a la presión atmosférica resultando que la presión parcial del aire tiende a cero) Para esto el conjunto calentador-desaireador es diseño de manera que la temperatura de salida del agua esté aproximadamente igual a la temperatura de saturación del vapor de calentamiento. La temperatura del agua está, por lo tanto, muy próxima a su temperatura de ebullición.

- Descargar a la atmósfera los gases extraídos al separarlos del vapor en el cual se encontraban disueltos.

El desaireador está localizado fuera de la casa de máquinas a una altura aproximada de 21 a 25 mts. sobre el cabezal de succión de las bombas de agua de alimentación. Con el propósito de suministrar la carga neta positiva de succión (net positive suction head NPSH) requerida por las mismas.

El desaireador es un intercambiador de calor tipo mezcla (el vapor hace contacto directo con el agua) que calienta el agua de condensado a la temperatura de saturación del vapor de calentamiento - (vapor de extracción No. 5 o de auxiliares en el arranque) correspondiente a la presión de servicio.

El tanque desaireador está constituido por un cuerpo cilíndrico horizontal de lámina de acero soldada, cerrado en sus extremos por tapas abombadas.

Contiene una caja de lámina de acero soldada que contiene las placas de desaireación sobrepuestas y traslapadas.

Este cuerpo está dividido en dos partes separadas por una cámara por medio de la cual se suministra el vapor para desaireación.

El desaireador está apoyado sobre el tanque de oscilación (tanque alimentador o de reserva) con dos soportes. El tanque de oscila-

ción es cilíndrico horizontal de lámina de acero soldada con una capacidad de 106 M^3 a nivel normal, suficiente para permitir el funcionamiento de las bombas de agua de alimentación, a plena carga de la unidad durante 7 minutos de reposición de agua.

El condensado que procede del calentador No. 4 entra al desaireador por la parte superior, inundando la cámara de agua de este equipo. El agua pasa por las válvulas de atomización fluyendo hacia la parte inferior, donde se mezcla con vapor ascendente. Este vapor, que entra al desaireador por la parte inferior, se expande horizontalmente y asciende mezclándose con el condensado descendente; al contacto con el agua el vapor arrastra los gases no condensables y los transporta hacia el condensador de venteos, donde el vapor es condensado y los gases venteados a la atmósfera.

El condensado que sale del desaireador se deposita en el tanque de oscilación desde donde es succionado por las bombas de agua de alimentación.

DESCRIPCION FUNCIONAL.

La siguiente descripción está referida al diagrama de tubería e instrumentación del sistema de condensado.

El vapor que trabajó en la turbina de baja presión se dirige a través del cono de escape a los tubos del condensador principal para condensarse y formar así el vacío al reducirse notablemente su volumen. Así el vapor ya condensado cae y se acumula en el pozo caliente. Los gases incondensables son al mismo tiempo succionados y arrojados a la atmósfera por un banco de eyectores ayudando así a mantener un alto vacío.

El tanque de condensado, por otra parte, suministrará o recibirá flujo de agua de condensado dependiendo del bajo o alto nivel que se tenga en el pozo caliente.

El agua de condensado acumulada en el pozo caliente se desfoga por una sola línea la cual se divide en dos para formar el cabezal

de succión de cada una de las bombas de condensado.

Cada bomba de condensado tiene un venteo que está tomado en la parte más alta del barril de succión de la bomba.

El cual descarga en el condensador, este venteo sirve para desalojar las bolsas de aire, que se acumulan arriba del espejo de agua. Por esta razón la válvula 1 deberá ser abierta previo al arranque de la bomba para ventear esa masa de aire en la succión.

La válvula 4 sirve para suministrar agua de sellos a cada bomba para evitar así entradas de aire al condensador.

La bomba que está en reserva entrará en automático al detectar un valor bajo de presión en la descarga, de las bombas.

En la descarga de las bombas de condensado se deriva una válvula de control 2 llamada retorno de condensado la cual abrirá cuando detecte alto nivel en el pozo caliente retornando agua al tanque de reposito de condensado aprovechando para esto la presión de la descarga de la bomba. De esta manera se controla un alto nivel en el pozo caliente.

Del mismo cabezal de descarga, se deriva otra línea que suministra agua de sellos, inundado inicial de nivel de varios equipos, dosificaciones químicas y atemperaciones a diferentes sistemas de esta unidad.

Más adelante en este mismo cabezal se encuentra la dosificación de Hidrazina (para inhibir el oxígeno) y de amoniaco (para eliminar el CO_2) enseguida el cabezal se divide en tres líneas:

- Condensador de vapor de sellos.
- Banco de eyectores
- Línea de desvío

Esta última línea se usa para regular el flujo de condensado cuando se quiere sacar de servicio cualquiera de los dos equipos arriba mencionados. A la salida de éstos equipos se vuelve a unir en una sola tubería, sobre la cual se localiza la línea con una válvula automática 3 a la cual se le designa como recirculación mínima y sirve

para proteger de un sobre calentamiento a la bomba de condensado, al condensador de vapor de sellos y al banco de eyectores.

Posteriormente el flujo de condensado fluye por el interior de los tubos de los calentadores de baja presión No. 1, 2, 3, y 4 donde se efectúa parte del ciclo regenerativo del agua al incrementar su temperatura.

Los calentadores antes mencionados tienen su línea de desvío para cuando se necesita poner fuera de servicio.

Los calentadores se ponen fuera de servicio por pares para protección de la turbina.

En la línea de condensado, antes del desaireador se encuentra un medidor de flujo y el cuadro de regulación que mandará señalización al cuarto de control así como al sistema de control del nivel del tanque de oscilación para mantener el nivel correcto en el mismo.

IV. 3 SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACION(Fig. IV.3.1)

Este sistema, comprende, desde el tanque de oscilación del desaireador hasta la entrada al economizador, su función principal consiste en proporcionar mediante la(s) bomba (s) de agua de alimentación la presión necesaria para que el agua pueda circular y llegar con la presión suficiente al domo de la caldera pasando previamente por los calentadores de alta presión, donde en conjunto con el sistema de extracciones incrementar gradualmente su temperatura, logrando así el aumento de la eficiencia del ciclo, al mismo tiempo suministrar el agua necesaria para atemperar el vapor sobrecalentado y recalentado si éste así lo requiere.

En base a lo anterior este instructivo tiene como finalidad proporcionar los conocimientos necesarios para identificar los componentes del sistema y así comprender su funcionamiento.

DESCRIPCION DEL EQUIPO PRINCIPAL.

El equipo principal que **constituye** este sistema es el siguiente:

- Tanque de oscilación del desaireador.
- Bombas de agua de alimentación, sus sistemas y quipos auxiliares.
- Calentadores de alta presión

TANQUE DE OSCILACION DEL DESAIREADOR.- Este es un tanque dispuesto en forma horizontal el cual sirve para almacenar el agua de alimentación (antes condensado), proveniente del desaireador y se encuentra unido a éste a través de dos líneas de descarga y dos líneas igualadoras de presión.

También reciben las descargas de las líneas de recirculación mínimas de cada una de las bombas de agua de alimentación, despues de pa--

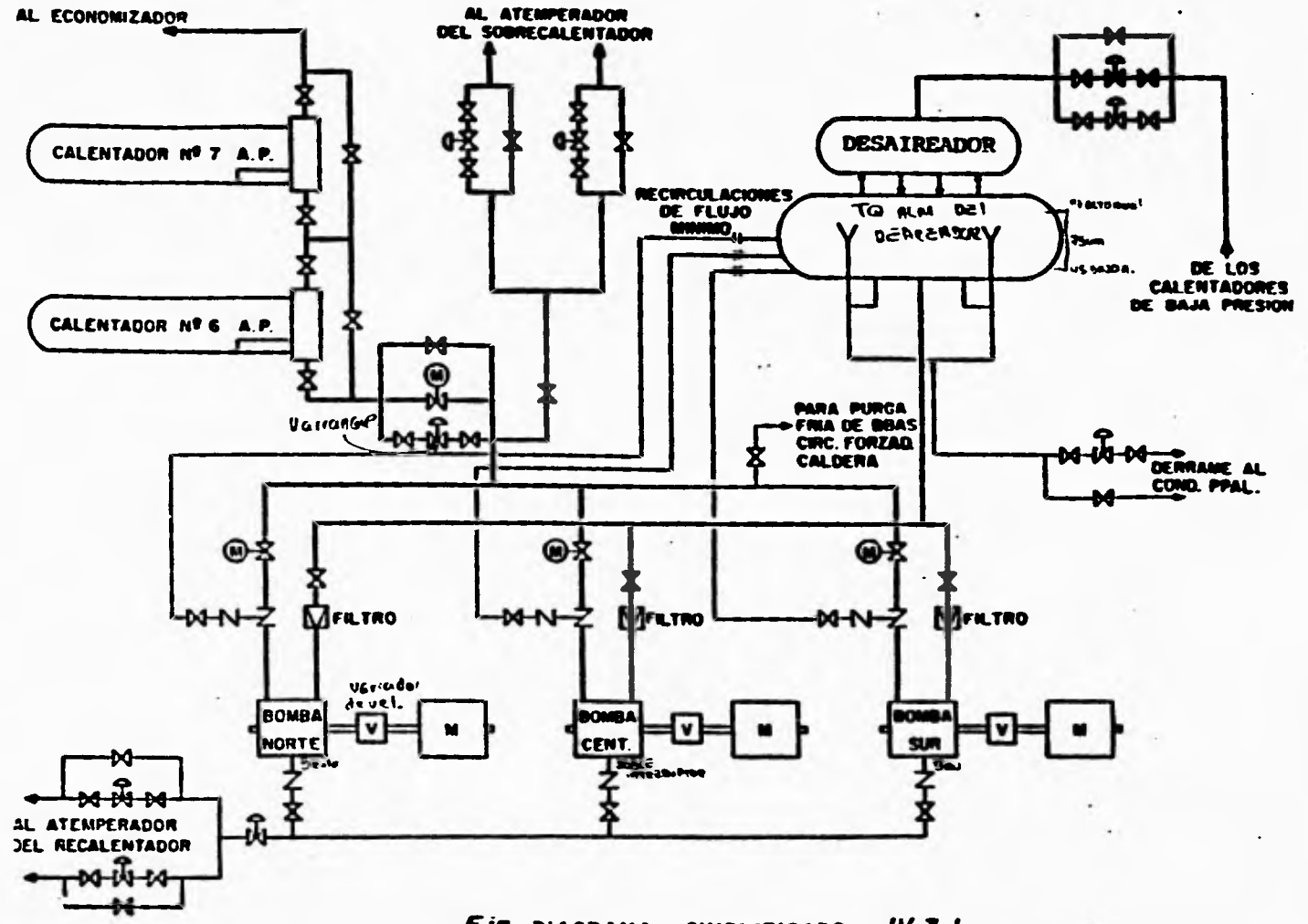


Fig. DIAGRAMA SIMPLIFICADO. IV.3.1

sar a través de su respectivo orificio de restricción.

En función de la capacidad del tanque de oscilación (105 m³ a nivel normal) y a la disposición física respecto al piso, dicho tanque proporciona el suministro y la altura de succión positiva en el punto de entrada de las bombas de agua de alimentación, logrando así una operación confiable de dicho equipo; dispone de una línea de derrame que a través de una válvula de control de respuesta a señal de nivel descarga al condensador principal cuando el nivel sube más arriba de su valor nominal.

BOMBAS DE AGUA DE ALIMENTACION.

El sistema cuenta con 3 bombas de agua de alimentación, cada una de ellas del 50% de capacidad, es decir, cuando la unidad se encuentra generando a 50% de carga (150 MW) o menos, solamente se requiere tener una bomba en servicio y cuando se aumenta la generación a más de 50%, se tiene que poner en servicio la segunda bomba, mientras la tercera queda en reserva.

Estas bombas son centrífugas horizontales, tipo de doble barril, de 6 pasos, doble succión en el primer paso, accionadas por un motor eléctrico de velocidad constante de 620 H.P. a través de un cople hidráulico de velocidad variable.

La altura neta de succión positiva (NPSH) requerida por las bombas es de 12.03 m. de columna de agua (120 KPa).

En la succión de cada una de las bombas se encuentra instalado un filtro, que evita la entrada de impurezas a las bombas, el cual cuenta con un manómetro diferencial que accionará una alarma común en la sala de control, cuando se encuentre obstruido el filtro de cualquiera de las tres bombas.

Para evitar esfuerzos térmicos y altas vibraciones debido a distracción, las bombas se encuentran interconectadas por medio de una línea llamada de calentamiento, a través de la cual se establece un flujo de agua, de las bombas que se encuentran en servicio, a la que

se encuentra de reserva, por medio de la cual dicha bomba se mantiene caliente, lista para entrar en servicio cuando se requiera.

También se cuenta con una línea de balance, la cual comunica la succión de la bomba con la zona donde se encuentra el estopero del lado de alta presión. El objetivo de esta línea es igualar la presión diferencial de ambos estoperos (lado agua de alimentación) para que la inyección del agua de sellos sea la misma presión, y el enfriamiento de los mismos sea en forma eficiente, así como establecer una baja presión en la cámara balanceadora de la manga de balance, para la operación de ésta.

En la (Fig. IV.3.2) que se muestra la bomba de agua de alimentación, se aprecia que los 3 primeros impulsores dirigen el agua en sentido opuesto al de los 3 restantes; esta disposición se hace con el objeto de que el empuje axial del rotor sea balanceado, lo cual se completa con una manga de balance y un cojinete de empuje.

En el tablero de registradores de la sala de control, se registran las temperaturas de las chumaceras de los motores, variadores y bombas.

Cada bomba cuenta con los siguientes sistemas y equipos auxiliares:

Nota: La numeración empleada a continuación es la que se enlista en la (Fig. IV.3.3).

BOMBA AUXILIAR DE LUBRICACION.- Cada bomba de agua de alimentación cuenta con una bomba auxiliar de aceite lubricante (2) accionada por un motor eléctrico y denominada de prelubricación; la cual suministra aceite de lubricación durante los arranques, paros y emergencias.

BOMBA PRINCIPAL DE ACEITE.- Esta bomba consta de dos impulsores, uno tipo engrane (3) y otro tipo centrífugo (8) montados en una misma flecha, y acoplada a través de engranes al elemento motriz de la bomba de alimentación la bomba (8) tiene la función de suministrar el aceite de trabajo, y la bomba (3) suministra el aceite de lubricación.

ENFRIADORES DE ACEITE DE LUBRICACION Y ACEITE DE TRABAJO.- Cada bomba

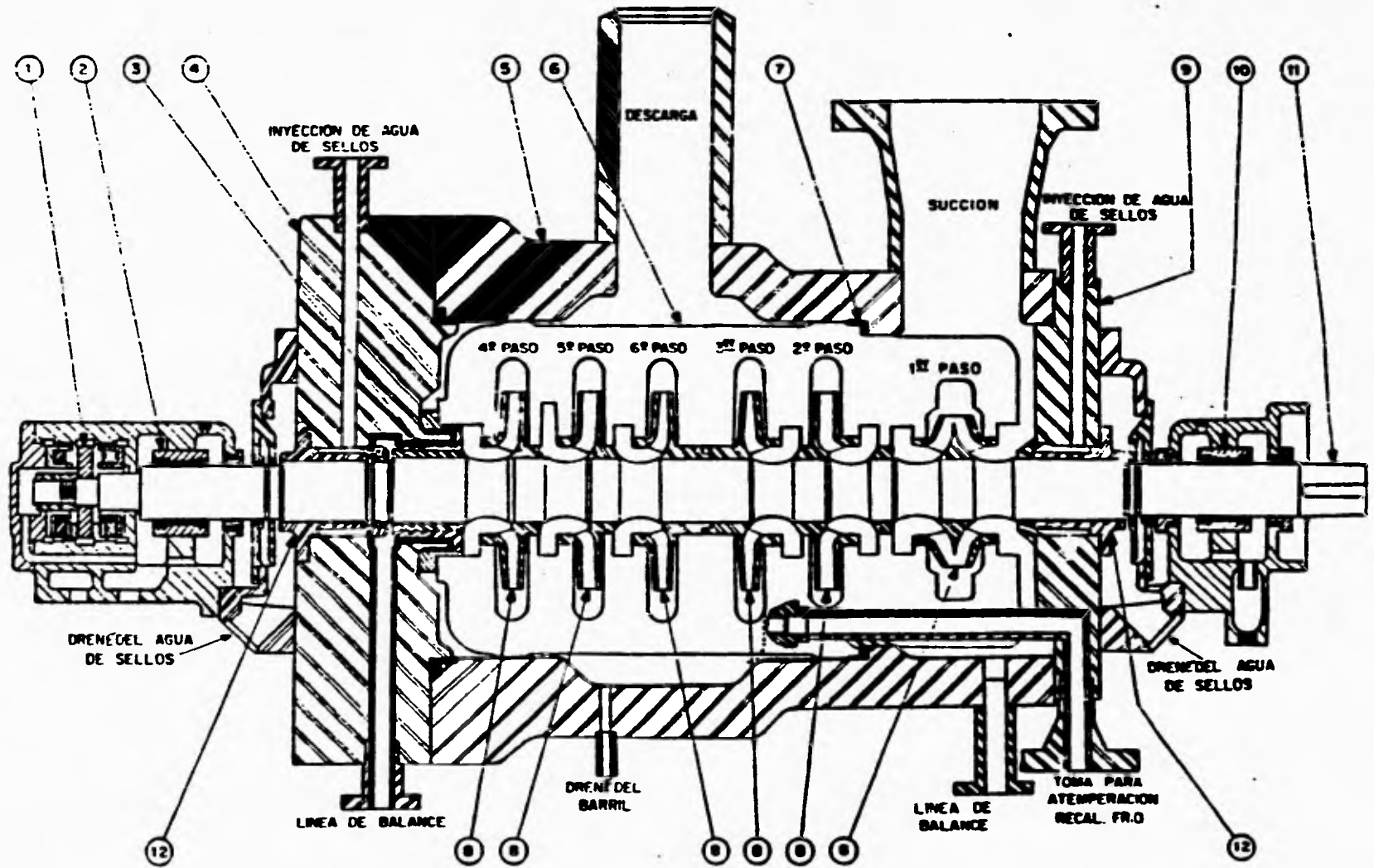


FIG. IV. 3. 2 CORTE LONGITUDINAL DE BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACION.

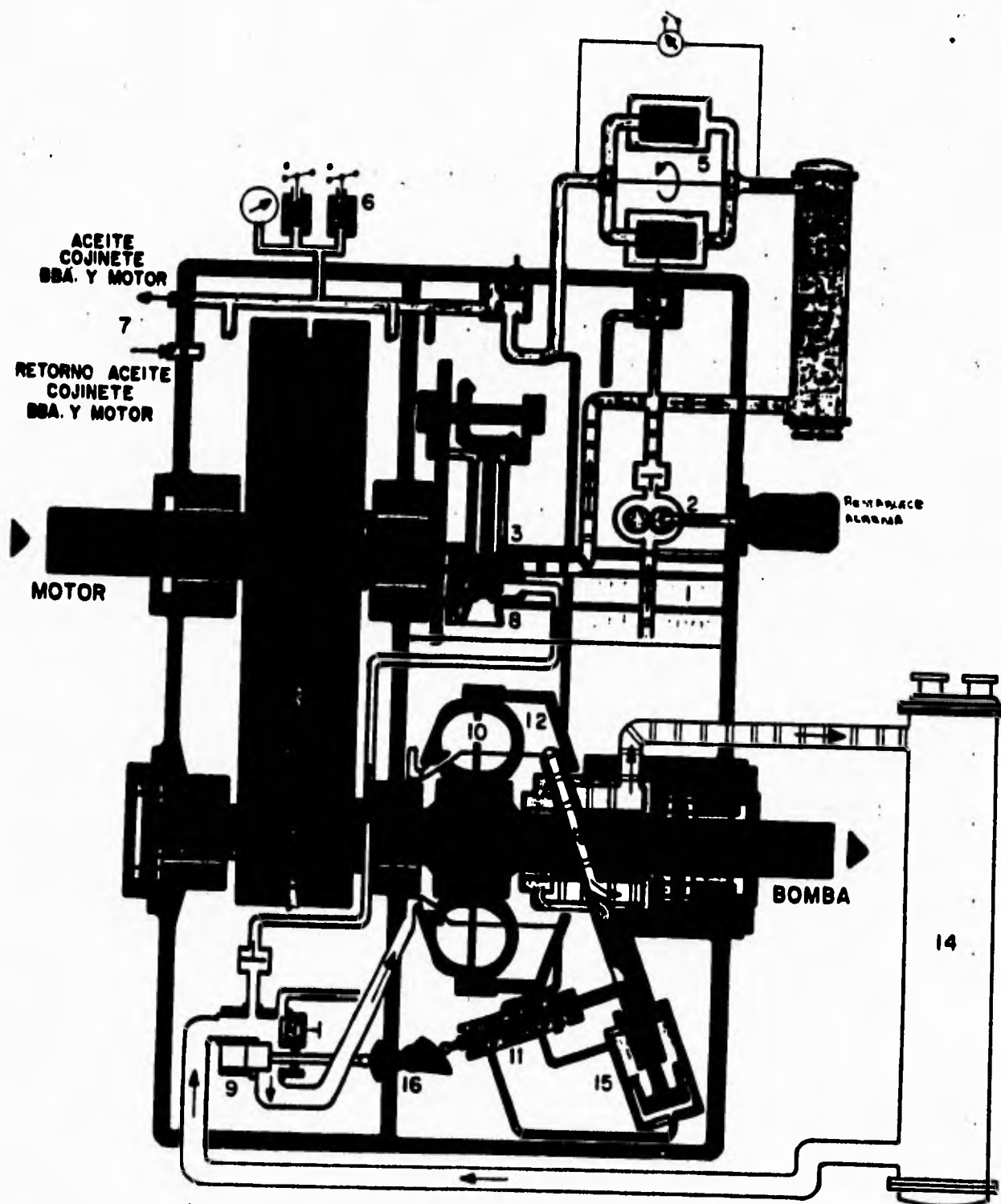


Fig. IV. 3. 3 Disposición del cope hidráulico.

de agua de alimentación esta equipada con un enfriador de aceite de lubricación (4) y uno de aceite de trabajo (14) para el cople hidráulico, respectivamente.

COPLE HIDRAULICO DE VELOCIDAD.- Cada bomba de agua de alimentación cuenta con un cople hidráulico de velocidad variable. El tren de engranes la velocidad inherente del motor (1785 R.P.M.) y este provee la regulación de la velocidad de salida.

El rango de regulación del cople hidráulico es desde el 25% hasta el 100% de carga. Cada cople cuenta con un servomotor, el cual modifica la posición de la leva (16) dependiendo de los requerimientos de flujo de agua en el generador de vapor, mediante una señal proveniente del sistema de control de agua de alimentación.

El cople hidráulico para su operación cuenta con un circuito de aceite de lubricación y con un circuito de aceite de operación. El aceite de lubricación es suministrado por la bomba auxiliar (2) y/o por el impulsor de engrane (3) de la bomba principal de aceite. Estas bombas succionan el aceite del tanque principal (1) y lo descargan a través del intercambiador de calor (4) y de los filtros dobles (5) y posteriormente es distribuido a los cojinetes axiales y radiales del conjunto motor, variador-bomba.

El cabezal de descarga del circuito de aceite de lubricación cuenta con una válvula de alivio para evitar alguna posible sobrepresión.

Los filtros dobles (5) cuentan con un indicador de presión diferencial el cual, será indicado del grado de suciedad del filtro de servicio.

Los interruptores de presión (6) están provistos para el automatismo de la bomba auxiliar (2) y así asegurar la lubricación continua de las partes rotativas durante el arranque, paro y operación normal.

El circuito de aceite de trabajo es alimentado por el impulsor centrífugo de la bomba principal de aceite la cual succiona el fluido del tanque principal o carter (1) y lo entrega a través de la válvula de control de flujo (9) al circuito de aceite de trabajo del cople hidráulico (10).

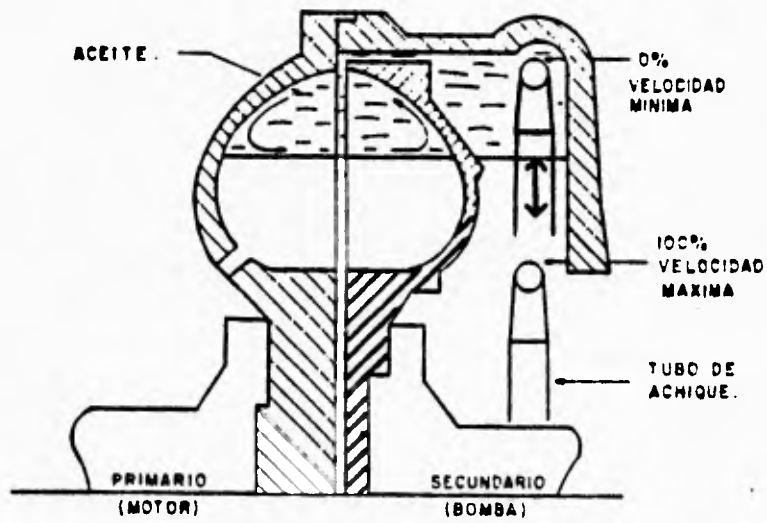


FIGURA IV. 3. ◀ VARIACION DE VELOCIDAD

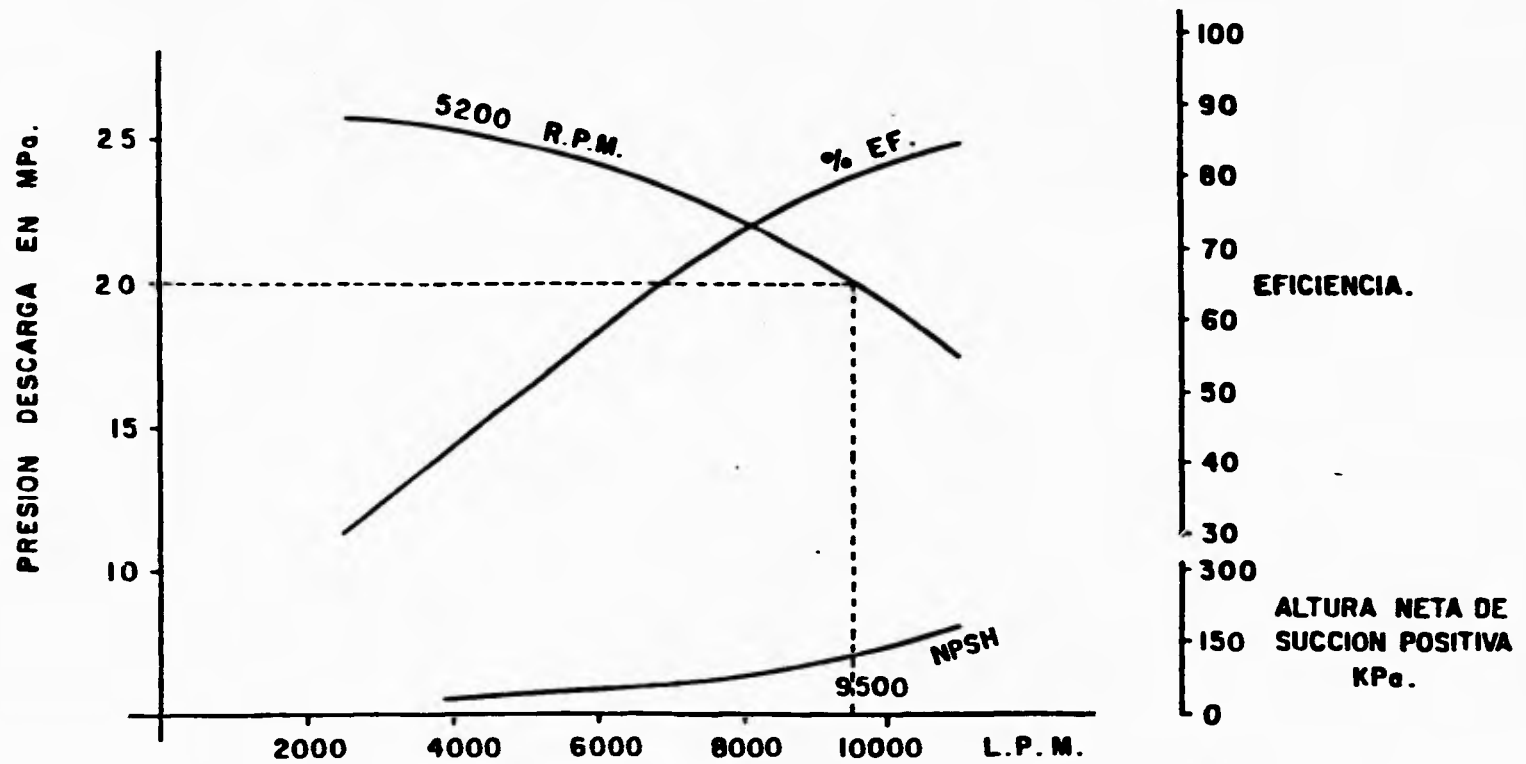


FIGURA IV.3.5 CURVA DE FUNCIONAMIENTO BBAS. AGUA ALIMENTACION.

El eje primario y secundario del cople hidráulico forman el circuito de aceite de trabajo por medio de la carcaza (12) del eje primario, que circunda el eje secundario, y que se comunica por vasos comunicantes. Debido a la fuerza centrífuga se forma un anillo en la parte interna de la carcaza rotativa (12); el espesor de este anillo de aceite (10) depende de la posición radial del tubo de achique deslizante (3) en el interior de la carcaza (12). (Fig. IV.3.3).

El aceite por el tubo de achique es dirigido a través de un intercambiador de calor (14) y después de la válvula de control de flujo (9) y ésta lo retorna al circuito de aceite de trabajo (cople hidráulico) o al tanque principal (1). De tal manera que al efectuar una regulación hacia aumentar o disminuir velocidad, la válvula de control de flujo (9) permite o impide el paso de aceite al circuito de trabajo (cople hidráulico) y con esto se logra una respuesta extremadamente rápida en la regulación requerida.

La velocidad transmitida al eje secundario depende del espesor del anillo de aceite formado en el cople hidráulico. (10) y como se mencionó, dicho anillo está en función de la posición del tubo de achique (tubo de achique totalmente, dentro de la carcaza espesor de anillo de aceite menor por lo tanto menor transmisión de velocidad y viceversa) (Fig. IV.3.4).

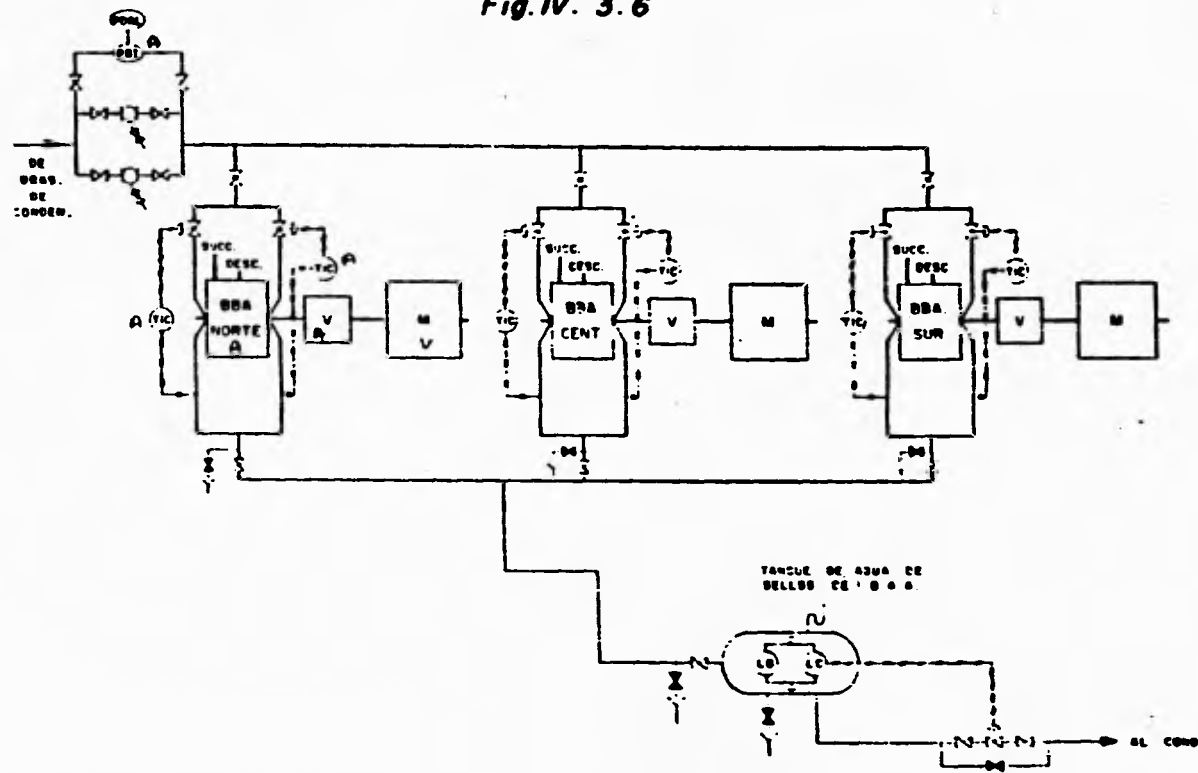
El movimiento de la leva (10) dependerá de la señal de control proveniente del sistema de control de agua de alimentación. Un movimiento en el sentido de las manecillas del reloj, provocará un desplazamiento de la válvula piloto (11) hacia la izquierda para comunicar aceite a la parte inferior del servomotor (15) del tubo de achique (13) y moverá éste hacia adentro disminuyendo el espesor del anillo, por lo que tendrá menor transmisión de velocidad (Fig. IV.3.3)-

Al mismo tiempo este movimiento de la leva (10), provocará una menor apertura de la válvula de control de flujo (9), y por lo consiguiente un menor flujo de aceite hacia el turbocople.

Un movimiento inverso de la leva al descrito anteriormente, ocasionará que la válvula piloto (11) se desplace hacia la derecha y con-

SISTEMA DE AGUA DE SELLOS

Fig. IV. 3.6



esto se comuniqué el aceite control a la cámara superior del pistón -- extrayendo el tubo de achique y por lo consiguiente se incrementa el - espesor del anillo de aceite, aumentando la transmisión de velocidad.

SISTEMA DE AGUA DE SELLOS DE LAS BOMBAS DE AGUA DE ALIMENTACION.- Cada bomba de agua de alimentación cuenta con un sistema de agua de sellos el cual consta principalmente de 2 válvulas controladoras de flujo de-- respuesta a una señal de temperatura, cada una con su respectivo con-- trol y un tanque colector de agua de sellos (Fig. IV.3.6).

El agua que requieren los sellos mecánicos de las bombas de agua de alimentación, es suministrada por las bombas de condensado, cuyo - flujo es regulado por las válvulas de control, instaladas en las líneas de suministro, en cada extremo, de la flecha de la bomba, para mantener constante la temperatura de salida y por lo tanto la de los sellos me-- cánicos.

El funcionamiento del sello mecánico es de la siguiente manera: (Fig. IV.3.7).

El líquido caliente del interior de la bomba (zona de succión) es-- capa por entre el buje y la flecha, este "goteo" está controlado por -- el estrecho claro que existe entre ambas partes, además de que tanto -- el buje como la flecha están diseñadas con superficies ranuradas, cal-- culadas para establecer el flujo adecuado a la zona de goteo.

Por otra parte, desde el exterior y a través de una válvula de con-- trol se inyecta el líquido del sistema de condensado (a una temperatu-- ra aproximadamente de 45°C y a una presión tal que esté entre 100 y 200 Kpa. arriba de la presión de succión de la bomba), a la cámara de sella-- do formada por el exterior del buje y el interior de la cubierta. Este líquido enfría el buje y penetra a la "zona de mezcla" evitando que - el líquido caliente proveniente del interior de la bomba se vaporice - inmediatamente fluye por la "zona de desalojo" y de ahí es enviado al - tanque de agua de sellos.

La cantidad de líquido de inyección del sistema de condensado es - controlado por una válvula neumática (una para cada sello), en respues--

223

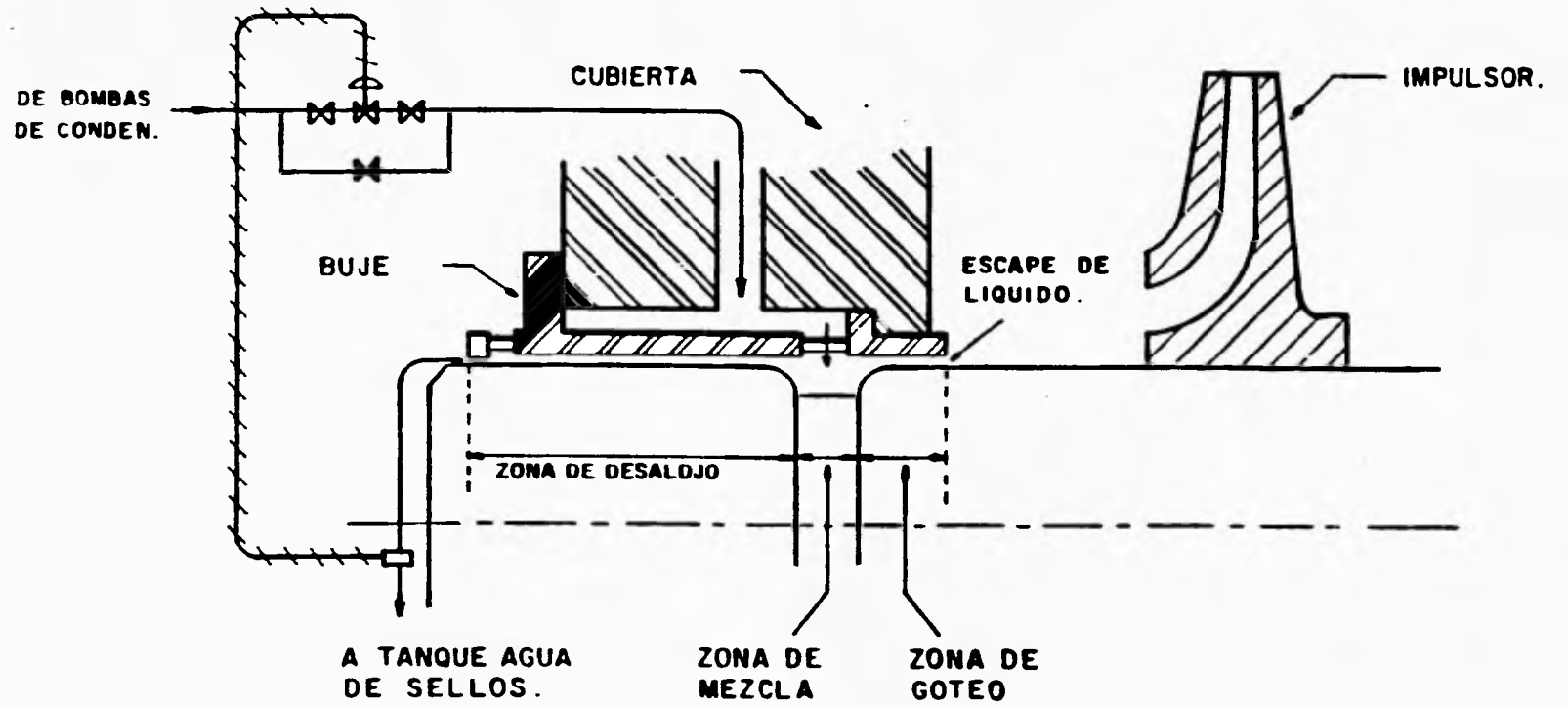


FIGURA IV. 3. 7 SELLO MECANICO DE BBS. AGUA DE ALIMENTACION.

ta de una señal de temperatura. El flujo suministrado dependerá de: - la temperatura del líquido en lo interior de la bomba; la velocidad de rotación, la temperatura del líquido de inyección al buje y la presión de succión de la bomba, la temperatura de la mezcla a la salida del se llo, se deberá mantener en 60°C .

La descarga de agua, de los sellos mecánicos, es enviada al tanque colector de agua de sellos, el cual mantiene su nivel normal por medio de su válvula de control que descarga al condensador principal. Este - tanque colector de agua de sellos, es común a las tres bombas de ali- - mentación, y su nivel debe ser mantenido para evitar entradas de aire - al condensador.

VALVULA DE RETENCION DE RECIRCULACION MINIMA.- Cada bomba de agua de - alimentación cuenta con válvula de retención y recirculación automá- - tica del tipo (encendido-apagado) (on-off) (Fig. IV.3.8).

La válvula de recirculación mínima deberá estar abierta del 0 al - 40% del flujo total de la bomba. Cuando se tienen flujos mayores a - este último valor la válvula deberá estar completamente cerrada, esta - válvula la comenzará a abrir al descender el flujo a un valor del 34%.

El objeto de esta recirculación es siempre mantener un flujo a - - través del cuerpo de la bomba para evitar que el agua llegue a calentar - se al estar recirculándose en el interior de ella y se evapore provocan - do la cavitación, o calentamientos excesivos que pueden provocar dilata - ciones y lleguen a rozar las partes fijas y móviles.

La recirculación está localizada en el lugar del ciclor donde el - calor absorbido puede ser disipado, tal como el desaireador, y está - colocada en derivación con la válvula de retención y antes de la vál - vula de bloqueo de la descarga de la bomba, de tal manera que la re - - circulación puede operar aún cuando la válvula de compuerta esté ce - - rrada por equivocación o si la válvula de retención logrará ~~ata~~**scarse**

CALENTADORES DE ALTA PRESION 6 y 7.- Son intercambiadores de calor - vapor-agua, horizontales, de tubos curvos de 2 pasos y tres zonas -

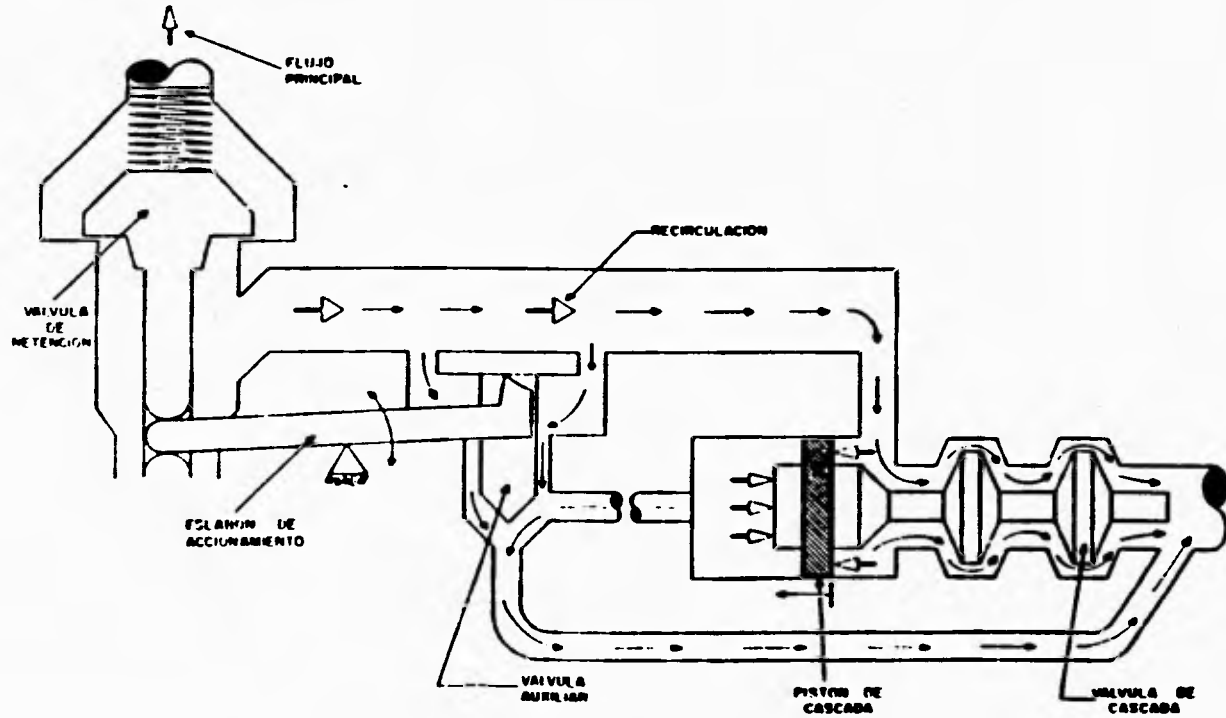


Fig. IV.3.8 VALVULA DE RETENCION Y RECIRCULACION MINIMA TIPO ON-OFF

(desobrecalentamiento, condensación y subenfriamiento de drenajes), en los cuales el agua de alimentación circula por el interior de los tubos y el vapor por el exterior. Su finalidad, al igual que los calentadores de baja presión, es incrementar la temperatura del agua de alimentación, para mejorar la eficiencia del ciclo, aprovechando el calor del vapor de las extracciones (6 y 7) que se le hacen a la turbina (Fig. IV.3.9).

DESCRIPCION FUNCIONAL.

El sistema de agua de alimentación se inicia en el tanque de oscilación del desaireador en donde el agua es almacenada y desciende por la acción de la gravedad hacia la succión de las bombas de alimentación.

El agua del desaireador desciende por una sola línea y llega a un cabezal común en el cual se tiene la derivación para la succión de cada bomba de agua de alimentación, antes de la llegada a cada una de ellas, se tiene una válvula de bloqueo y un filtro de succión.

Las bombas de agua de alimentación tienen una presión máxima de descarga de 19.61 MPa, la cual es suficiente para permitir el flujo de agua al domo en condiciones nominales de presión de vapor. Además de la función principal de este sistema de suministrar el agua a la caldera para su evaporación también se tienen derivaciones para efectuar la atemperación del vapor sobrecalentado y del vapor recalentado. La derivación que se tiene para el suministro de agua de atemperación para el vapor sobrecalentado está tomada del cabezal común de las descargas de las bombas antes del cuadro de regulación. Para la atemperación del vapor recalentado, el agua se toma del tercer paso de cada una de las bombas, donde posteriormente se unirán a una línea común.

A la descarga de cada bomba se tienen válvulas de retención y de recirculación mínima y posteriormente una válvula de bloqueo motorizada, la cual abrirá siempre y cuando ya haya sido puesta en servicio la bomba correspondiente y se le de señal de apertura.

Posteriormente en el cabezal de descarga, se tiene el cuadro de regulación de agua de alimentación. En ese cuadro de regulación se tiene una válvula neumática de bajas cargas llamada también de arranque, con sus respectivas válvulas de bloqueo y la cual regulará el flujo hasta un 25% de carga.

Se tienen también una válvula motorizada del tipo ON-OFF, la cual abrirá al incrementarse la carga de la unidad por arriba del 17% (señal de flujo de vapor), y cerrará al descender la carga del 11%, también se cuenta con una válvula de desvío de accionamiento manual.

Para el control del flujo de agua de alimentación, en bajas cargas se efectuará con la válvula de arranque y con los variadores de velocidad de las bombas. Se utiliza únicamente la válvula de arranque cuando la presión en el domo es menor que la presión máxima de descarga de las bombas (9.0 MPa) con velocidad mínima en el variador. Cuando la presión en el domo tienda a acercarse a este valor, se deben utilizar los variadores de velocidad para incrementar la presión de descarga de las bombas para asegurar siempre un flujo hacia el domo si lo requiere. En altas cargas de control se efectuará únicamente con los variadores de velocidad, ya que a un 17% de flujo de vapor la válvula motorizada de altas cargas abrirá, y la de arranque estará abierta completamente arriba del 25% de carga.

IV.4 SISTEMA DE EXTRACCIONES, DRENES Y VENTEOS(Fig. IV.4.1).

La eficiencia del generador de vapor depende en gran parte del calentamiento y acondicionamiento del agua de alimentación, lo cual es realizado por el sistema de extracciones, drenes y venteos cuyas finalidades son:

- a) Conducir el vapor de las extracciones realizadas a la turbina hasta cada uno de los calentadores, elevando la eficiencia termodinámica del ciclo, al aprovechar el calor del vapor para elevar la temperatura del agua de alimentación, evitando además el choque térmico en el metal de la caldera.
- b) Drenar en cascada el condensado de vapor de las extracciones de los calentadores de alta presión al desareador, y el de los calentadores de baja presión al condensador principal. Con esta disposición aumenta la economía, puesto que la temperatura en el agua de alimentación, es casi igual al del condensado de un calentador dado.
- c) Proporcionar a los calentadores de un venteo adecuado, tanto en el arranque como en operación normal, para eliminar los gases acumulados contribuyendo a aumentar la efectividad de la transferencia de calor y reduciendo los problemas de corrosión.

DESCRIPCION DEL EQUIPO.

- 1 Calentador de baja presión número 1.- El calentador de baja presión No. 1 recibe vapor directamente, del paso No. 5 de ambos lados del cuerpo de la turbina de baja presión. Se encuentra localizado en el cuello del condensador, con objeto de minimizar la caída de presión en la tubería al trabajar con presión absoluta baja y al mismo tiempo lograr un mejor aprovechamiento del espacio que rodea al condensador.

230

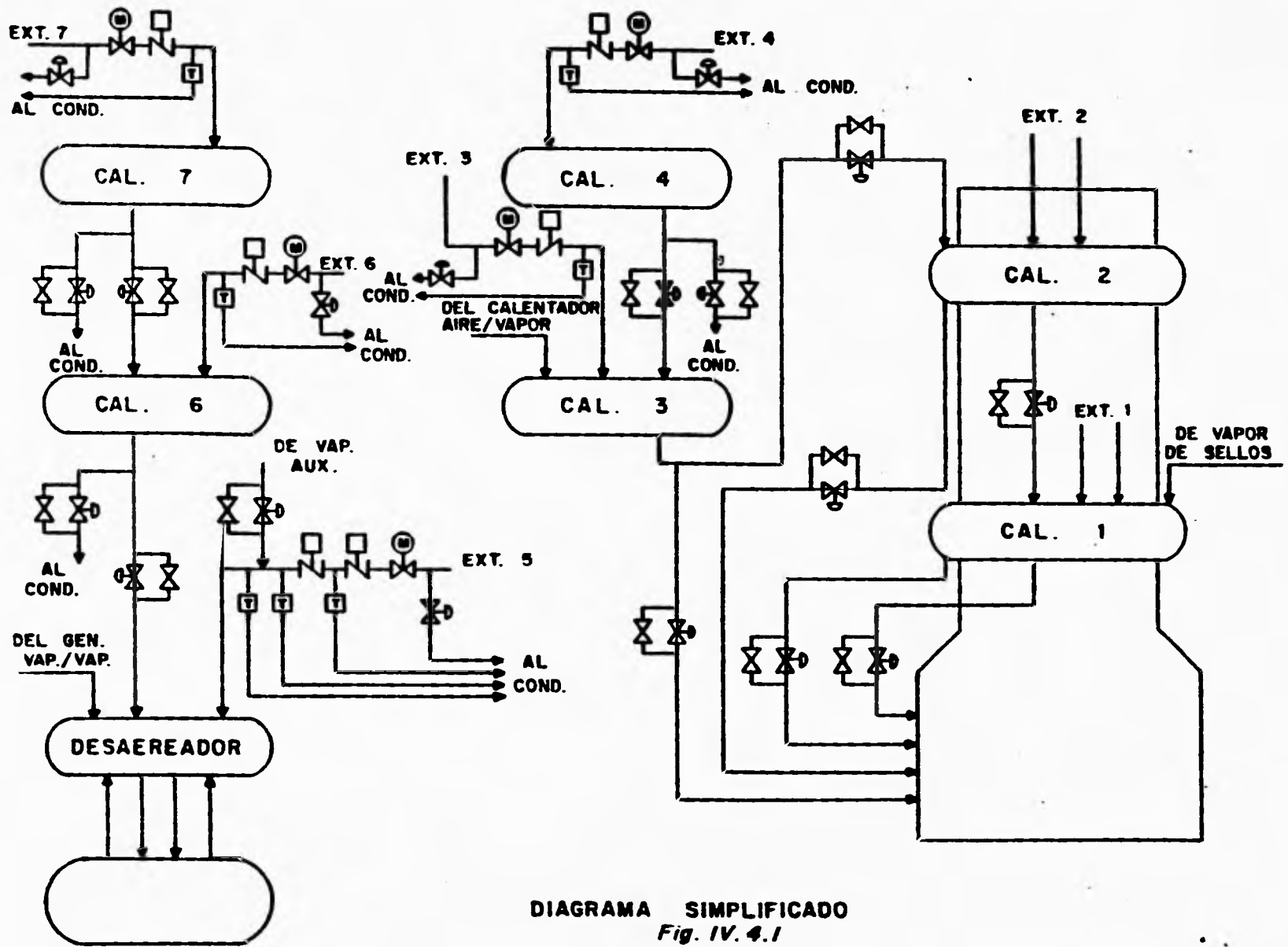


DIAGRAMA SIMPLIFICADO
Fig. IV. 4.1

El cuerpo del calentador dispone de dos entradas de vapor procedentes de la turbina, una entrada procedente del regulador de vapor de sellos y el drenaje normal del calentador No. 2, dos drenajes y tuberías de venteo del incondensable hacia el calentador, y la entrada y salida de agua procedente del sistema de condensado.

El vapor que entra al calentador se condensa, tras ceder su calor latente de vaporización al agua que circula por el interior de los tubos, y para obtener el máximo rendimiento de operación normal de cualquier calentador, es necesario controlar estrechamente su nivel normal de operación, además, una de las causas principales de algunos daños a la turbina ha sido la inducción de agua desde el sistema de extracción por lo que el calentador No. 1 cuenta con dos líneas de drenado de condensado, una normal y la otra de emergencia manejadas por válvulas de control de rango dividido, por lo que la válvula de emergencia, empezará a abrir hasta que la válvula de control normal esté totalmente abierta.

Este calentador no dispone de válvulas de retención en la extracción de vapor, ya que es impráctico instalar válvulas de cierre en el cuello del condensador, y además aún en caso de salida de operación de la Unidad, apenas se producirá retorno de vapor hacia la turbina por evaporación del condensado contenido en el calentador, dadas sus condiciones de presión y temperatura.

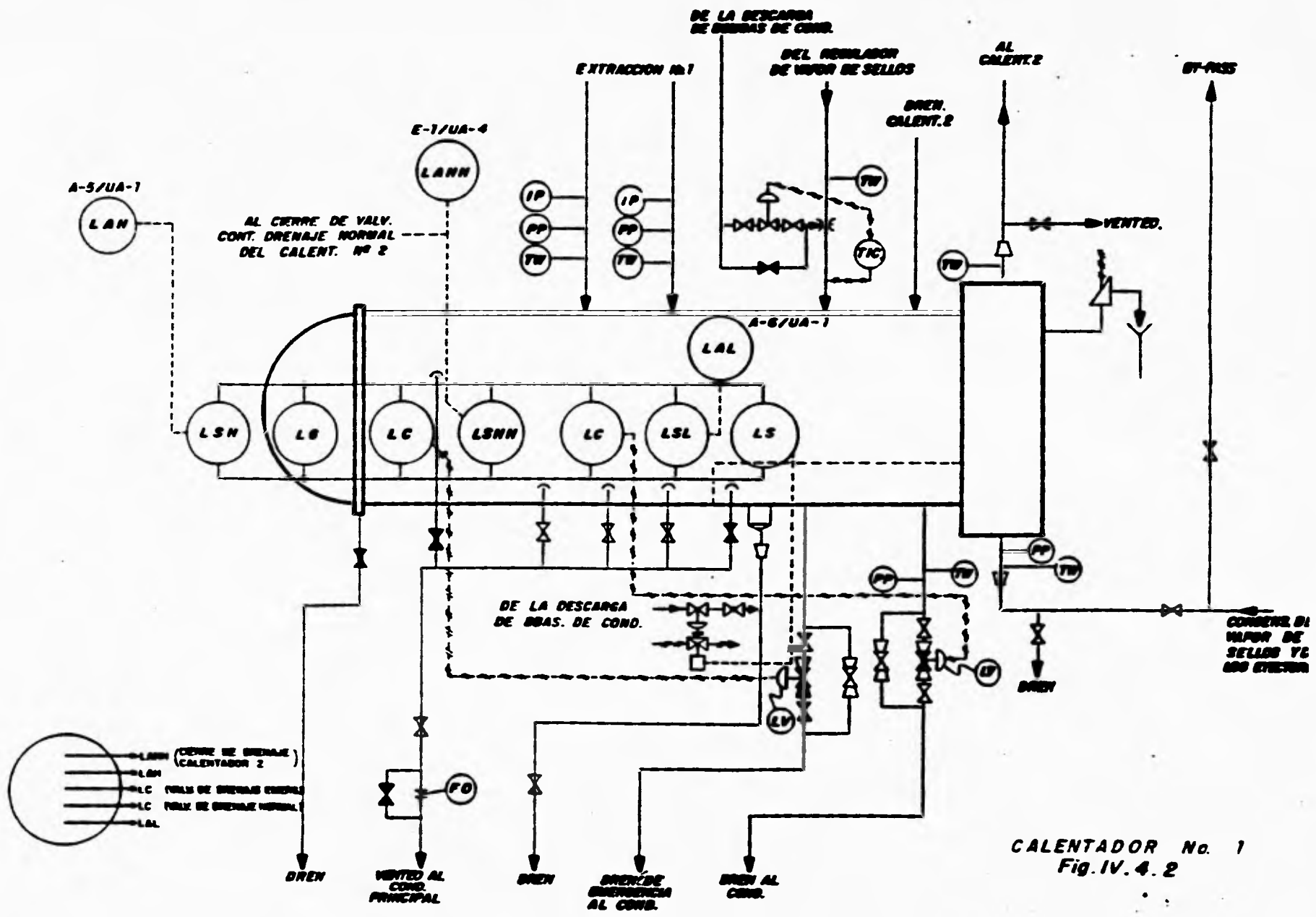
En caso de que el calentador no alcance el nivel de agua requerido para su funcionamiento normal, se tiene una válvula neumática operada por solenoide y que suministra agua procedente de la descarga de las bombas de condensado.

Esta válvula abre por muy bajo nivel en el calentador y cierra al alcanzarse el nivel normal de operación. Se cuenta en sala de control con alarmas de nivel anormal del calentador.

El sistema de venteo de los gases incondensables arrastrados por el vapor cuenta con tuberías que se unen a un colector común (Fig.

II.4.2) en el cual se tiene un orificio restrictor del flujo que evita la despresurización del calentador y la alta velocidad en

232



CALENTADOR No. 1
Fig. IV. 4. 2

los gases en la salida del calentador.

2. Calentador de baja presión No. 2.- Este calentador recibe el vapor del cuarto paso de ambos lados de la turbina de baja presión se encuentra situado en el cuello del condensador y es de tipo horizontal de tubos rectos.

Dispone de dos entradas de vapor, dos líneas de drenaje, la normal hacia el calentador No. 1 y la de emergencia hacia el condensador, y tuberías para venteos de gases incondensables, además de las líneas de llegada y salida del agua del sistema de condensado. El sistema de drenaje cuenta con válvulas de control de rango dividido.

Este calentador no cuenta con válvulas de retención en la extracción por la misma razón mencionada para el calentador número 1. Se dispone además de una válvula operada por solenoide con objeto de reponer el nivel con agua proveniente del sistema de condensado en caso de necesitarse. Esta válvula abre al detectarse muy bajo nivel y cierra al tenerse nivel normal, se cuenta con alarmas en cuarto de control por nivel normal.

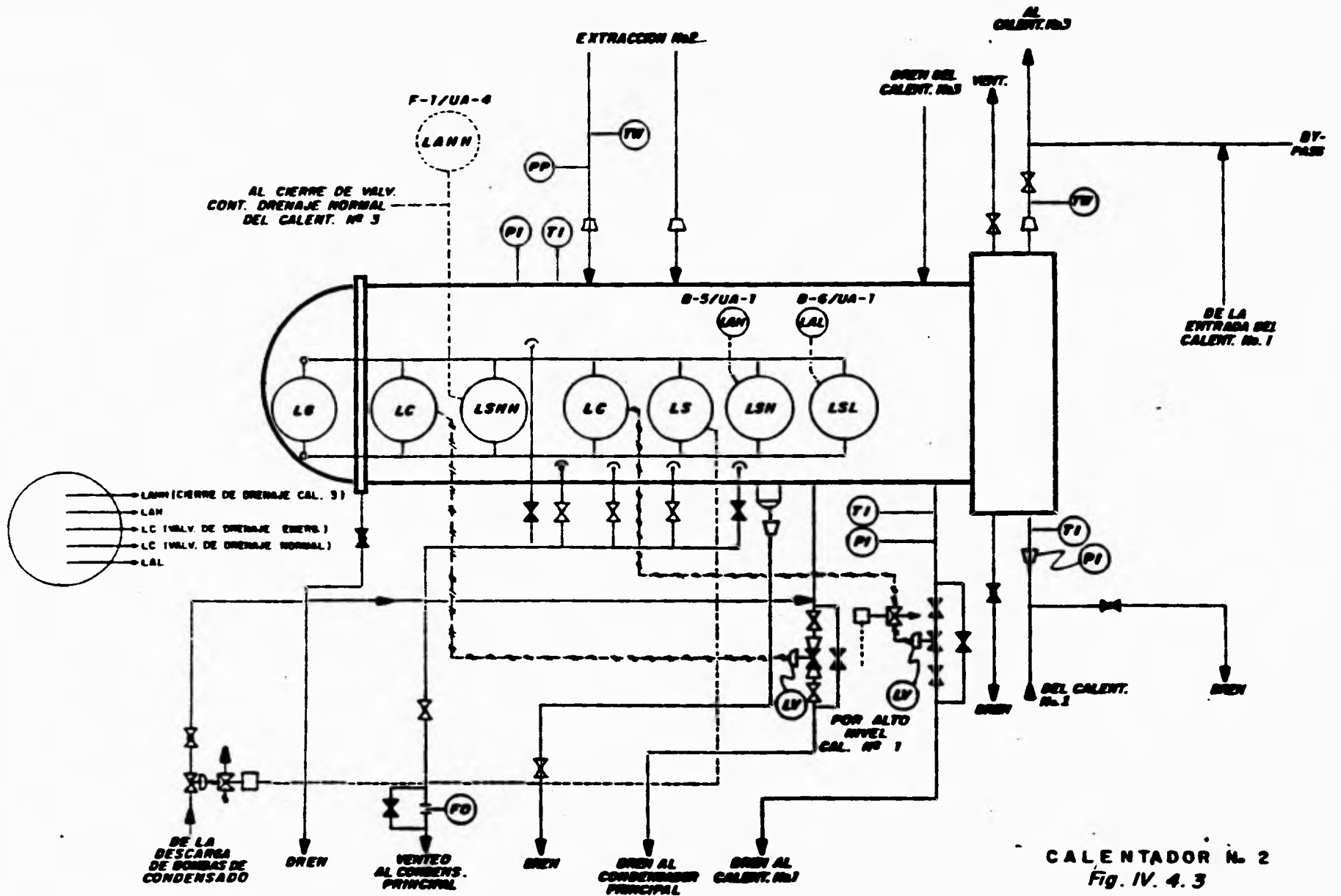
El calentador cuenta con un sistema de tuberías con objeto de ventear los gases incondensables hacia el condensador, los cuales se unen en una tubería que tiene un orificio restrictor de flujo para evitar la despresurización del calentador y la alta velocidad de los gases a la salida del calentador (Fig. IV.4.3).

3. Calentador de baja presión No. 3.- Recibe vapor proveniente del tercer paso de la turbina de baja presión.

Cuenta en la línea de extracción con una válvula movida por motor y una de retención controlada entre el calentador y la turbina, y un sistema de drenaje constituido por una válvula actuada por solenoide del lado turbina y por una trampa con válvulas de bloqueo y desvío del lado calentador.

Al calentador llegan el vapor de la extracción por una sola línea, el drenaje de los calentadores aire-vapor, el drenaje

713



normal del calentador No. 4 y el agua del sistema de condensado - proveniente del calentador No. 2. El drenaje del calentador sale por una sola línea que posteriormente se bifurca en dos líneas, - una hacia el calentador No. 2, siendo este el drenaje normal y la otra de emergencia hacia el condensador principal. Además se tie ne un sistema de venteo para los gases incondensables hacia el - condensador restringiéndose por un orificio de flujo (Fig. IV.4. 4).

Con el fin de evitar una inducción de agua o retorno de va-- por hacia la turbina por evaporación del condensado en el calentado r al existir menor presión en la turbina en el punto de extrac-- ción que la correspondiente al estado de saturación, cerrarán las válvulas motorizada y de retención al existir un alto nivel del - calentador, baja carga o disparo de la unidad. Las trampas de - vapor en la línea tienen como finalidad evitar que se formen con-- densados los cuales ocasionarían golpes de ariete en la tubería.

En el apéndice se muestra la lógica de operación de las vál-- vulas de corte automático de la extracción, de las de retención - y de las de drenaje de la línea. En la sala de control se cuenta con alarmas por nivel anormal en el calentamiento en el calentador 4 Calentador de baja presión No. 4.- Este calentador recibe vapor-- del paso No. 1 de la turbina de baja presión a través de la ex--- tracción No. 4.

Entre el cuerpo de la turbina y la carcaza del calentador - existe una válvula de aislamiento movida por motor y una de reten-- ción controlada, la tubería dispone de drenajes a base de purgas-- y una válvula actuada por solenoide (Fig. IV.4.5).

La tubería de drenaje del calentador es única y posteriormente se divide en dos, una normal hacia el calentador No. 3 y otra de emergencia hacia el condensador. Se tiene además un sistema - de venteos de gases incondensables hacia el condensador restrin-- gidos por un orificio de flujo.

El calentador recibe el agua del sistema de condensado prove

237

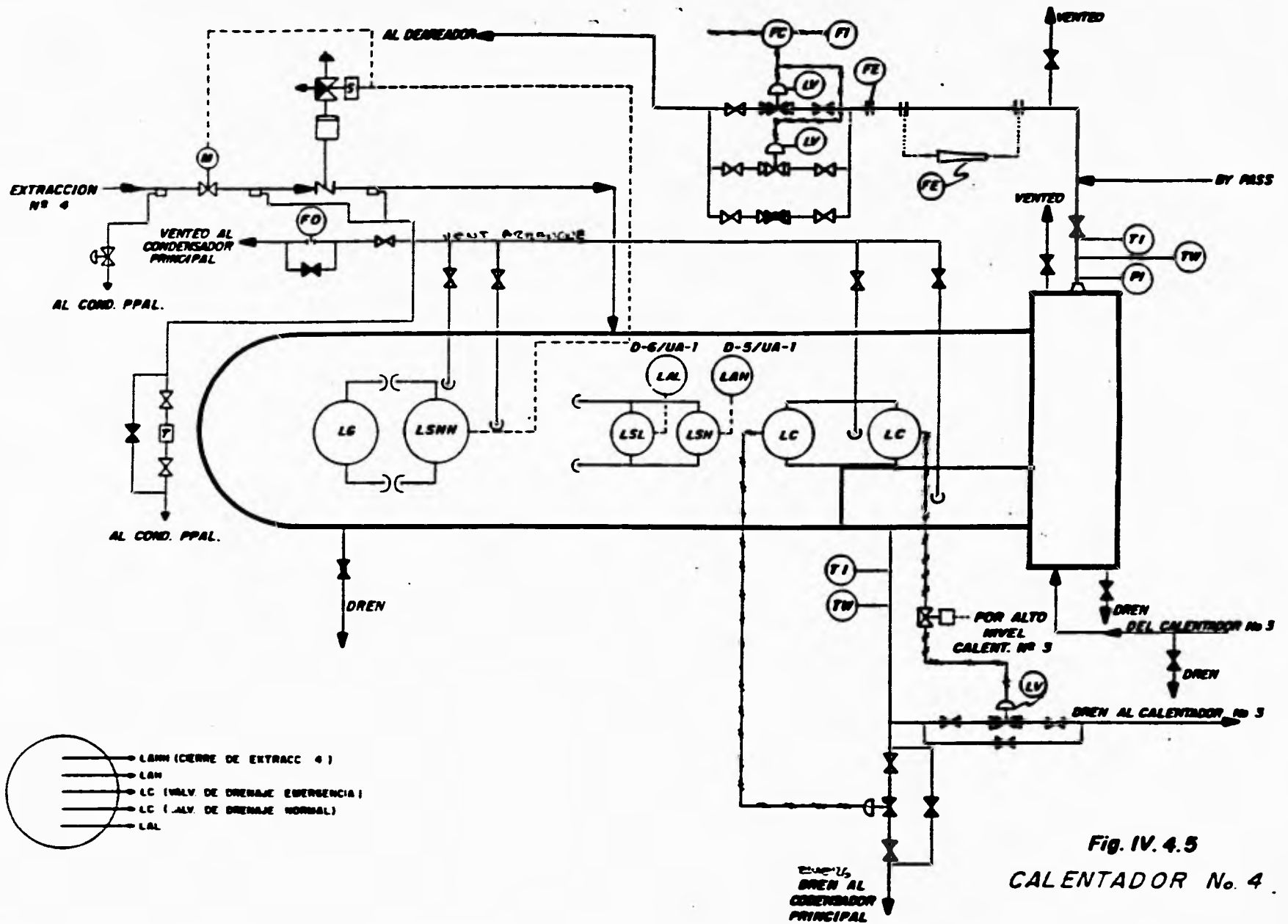


Fig. IV. 4.5
CALENTADOR No. 4.

niente del calentador número 3. Se cuenta en el cuarto de control con alarmas por nivel anormal del calentador.

La lógica de funcionamiento de las válvulas de retención, de aislamiento movida por motor y la de drenaje de la línea de extracción se muestran en el apéndice final del instructivo.

- 5 El desaereador.- El desaereador o calentador No. 5 se utiliza para : 1).- Eliminar los gases del agua de alimentación y, en consecuencia, disminuir la corrosión del equipo, 2).- Calentar el agua de alimentación y por lo tanto, aumentar su eficiencia termodinámica y 3).- Al combinarse con un tanque de almacenamiento asegura una carga de succión positiva bajo todas las condiciones de operación, particularmente durante períodos de cambio de carga.

El agua de alimentación entra por la parte superior del desaereador, el cual está arreglado para que caiga en pequeñas gotitas en contacto directo con el vapor. El agua se pulveriza por medio de chorros colocadas en cascada y perforadas para seguir un contacto más eficaz con el vapor durante el proceso de calentamiento. El desaereador es un calentador del tipo de mezcla o contacto y es más eficiente que el de tipo de superficie, puesto que no existe barrera metálica para la transferencia de calor del vapor de agua. El agua puede alcanzar la temperatura de saturación correspondiente a la presión del vapor de calentamiento y durante el proceso de calentamiento, los gases son liberados del agua.

En condiciones normales de operación el desaereador recibe:

- El vapor procedente de la 5ta. extracción ubicada en la salida de la turbina de presión intermedia No. 2, o vapor auxiliar durante los períodos de arranque y a bajas cargas.
- El agua de condensado procedente del calentador No. 4 de baja presión.
- El drenaje en cascada y los venteos de los calentadores 6 y 7 de alta presión.
- El drenaje del generador vapor/vapor (vapor primario)

- El vapor del tanque de evaporación instantánea de la purga -
continúa.

Las bombas de agua de alimentación succionan del fondo del tanque de oscilación y envían el agua hacia el generador de vapor a través de los calentadores 6 y 7 de alta presión, a este mismo tanque llegan las líneas de recirculación de dichas bombas. (Fig. IV.4.6).

El oxígeno y gases incondensables son eliminados por medio de venteos que descargan hacia la atmósfera.

El tanque de oscilación, cuenta con dos tuberías que se unen en un cabezal común, en donde se encuentra una válvula de control cuyo objetivo es drenar el excedente de agua hacia el condensador en caso de alto nivel, esta válvula cuenta con válvulas de bloqueo y desvío. En la sala de control se cuenta con alarmas por nivel anormal.

En la línea de vapor de extracción se cuenta con dos válvulas de retención, una hidráulica y la otra neumática y una válvula de corte de emergencia operada por motor, con el fin de evitar al máximo una vía de entrada de vapor desde el desaerador por evaporación del líquido contenido en él o de inducción de agua por alto nivel hacia la turbina, se tienen además líneas de drenado de condensado con válvula operada con solenoide y trampa de vapor. La lógica de funcionamiento de estas válvulas se presenta en el apéndice final del instructivo.

A esta misma línea se une el suministro de vapor auxiliar, la cual cuenta con un cuadro de regulación cuyo objetivo es mantener una presión de 170 Kpa en el desaerador durante los períodos en que no está en servicio la extracción No. 5.

b Calentador de alta presión No. 6.- Recibe vapor por medio de la extracción No. 6 que se encuentra ubicada en la vía de comunicación de las turbinas de presión intermedia Nos. 1 y 2. En esta línea se encuentran una válvula de corte de emergencia accionada por motor, una válvula de retención de drenajes por medio de una válvula actuada por solenoide y una trampa de vapor.

El calentador cuenta con un sistema de venteo y un orificio que es restrictor de flujo y que conduce los gases incondensables -

240

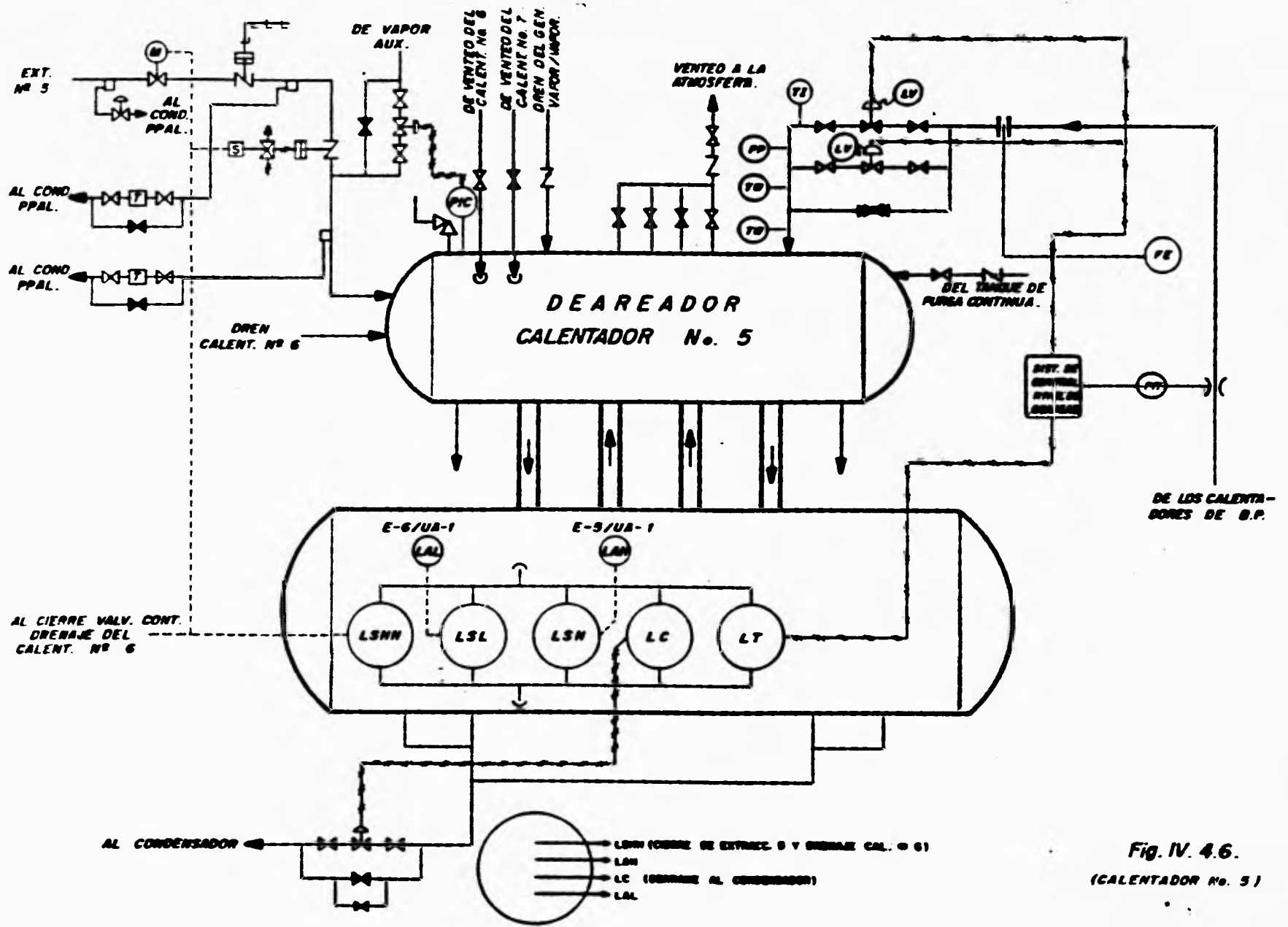


Fig. IV. 4.6.
(CALENTADOR No. 5)

hacia el desaerador en operación normal o al condensador en arranques.

El sistema de drenaje de condensado está constituido por una línea que parte del calentador y que posteriormente se bifurca en dos, hacia el desaerador en forma normal y la otra de emergencia hacia el condensador, en ellas se encuentran válvulas de control de rango dividido manejadas por controladores de nivel (Fig. IV. 4.7).

El calentador 6 recibe también el drenaje del condensador del calentador 7 y en la sala de control se tienen alarmas por nivel anormal. La turbina tiene disparo por muy alto nivel del calentador 6. La lógica de funcionamiento de las válvulas de retención, corte de emergencia operada por motor y la de drenaje operada por solenoide ubicadas en la línea de extracción se encuentran en el apéndice final del instructivo.

7 Calentador de alta presión No. 7.- Recibe vapor de las líneas de vapor recalentado frío por medio de la extracción No. 7, en ella se encuentran una válvula de corte operada por motor, una válvula de retención, y sistema de drenaje de condensados por medio de purgas y una válvula actuada por solenoide.

La entrada de vapor de la extracción en el calentador es única, así como es única la tubería de salida de drenes de condensado que posteriormente se bifurca en dos, una normal hacia el calentador No. 6 y la otra de emergencia hacia el condensador, en estas líneas se tienen válvulas de control, de rango dividido manipuladas por controladores de nivel.

En la sala de control se cuenta con alarmas por nivel anormal en el calentador y en caso de muy alto nivel sucederá el disparo de turbina (Fig. IV.4.8).

El calentador cuenta con un sistema de venteo de gases incondensables con un orificio restrictor de flujo, el cual conduce los gases hacia el desaerador en condiciones de operación normal en arranques o emergencia hacia el condensador principal.-

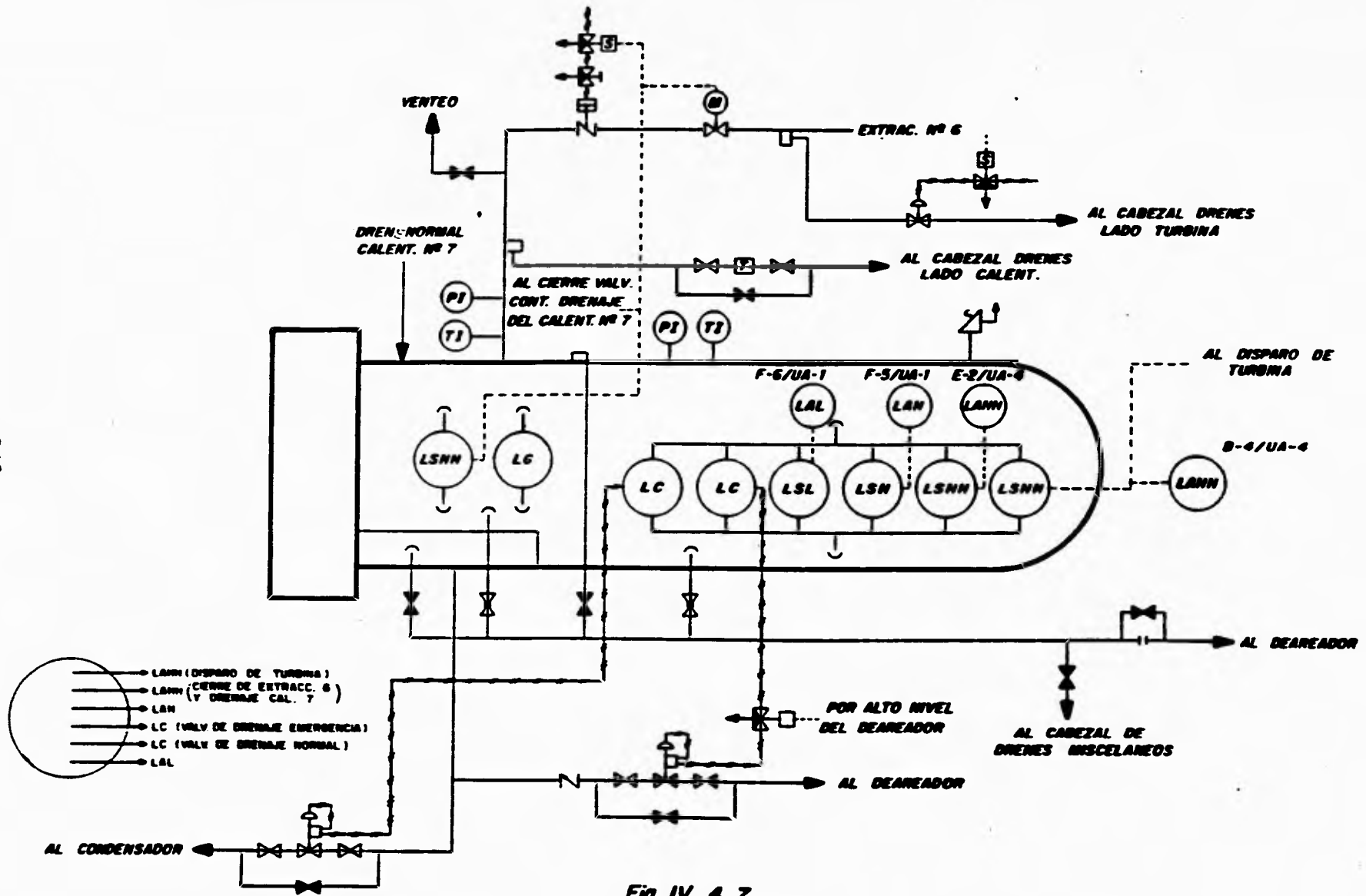


Fig. IV. 4. 7.
CALENTADOR Nº 6

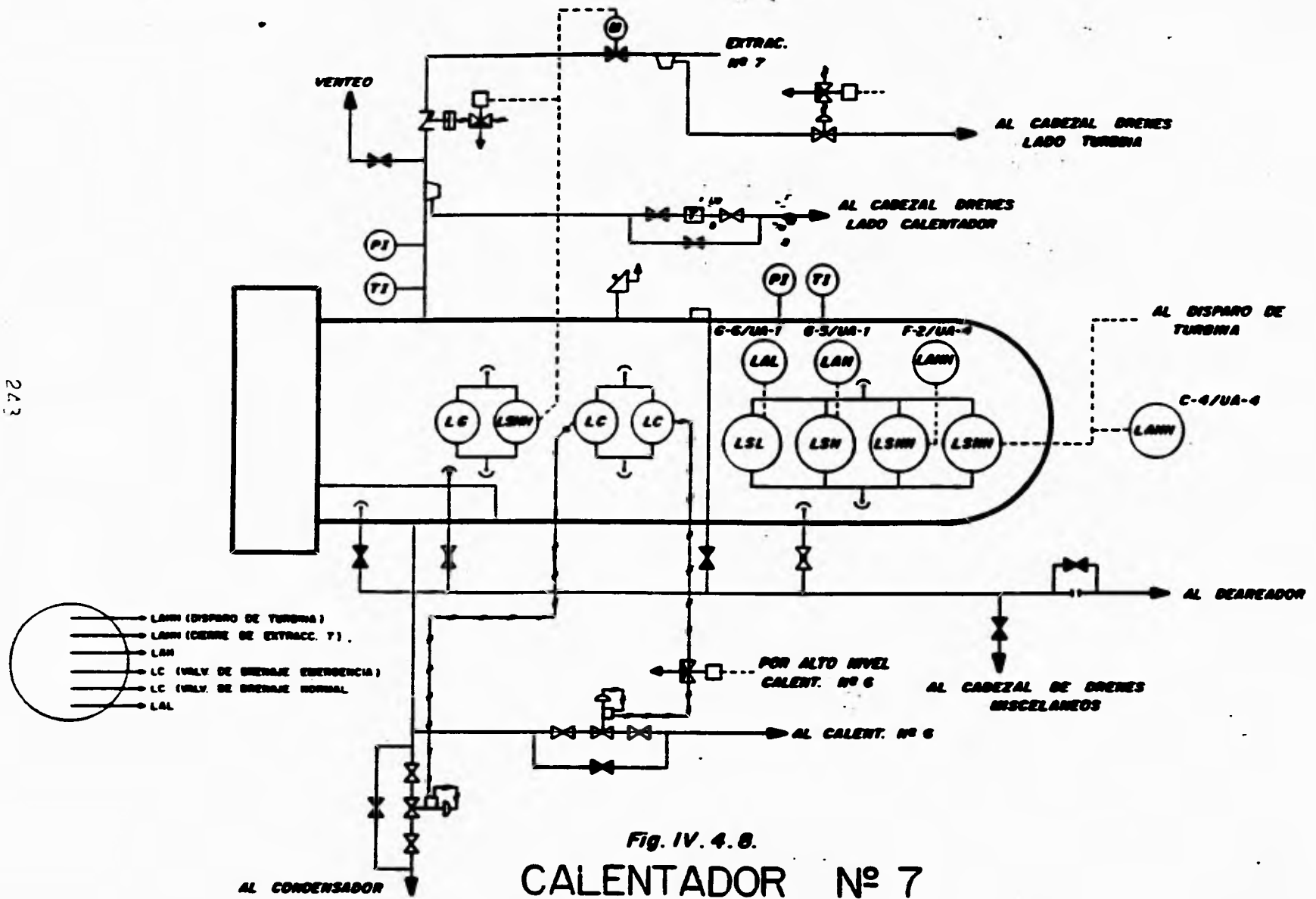


Fig. IV. 4. B.
CALENTADOR Nº 7

Por el lado tubos, recibe el agua de alimentación procedente del calentador 6 en su paso hacia el economizador.

DESCRIPCION DEL FUNCIONAMIENTO.

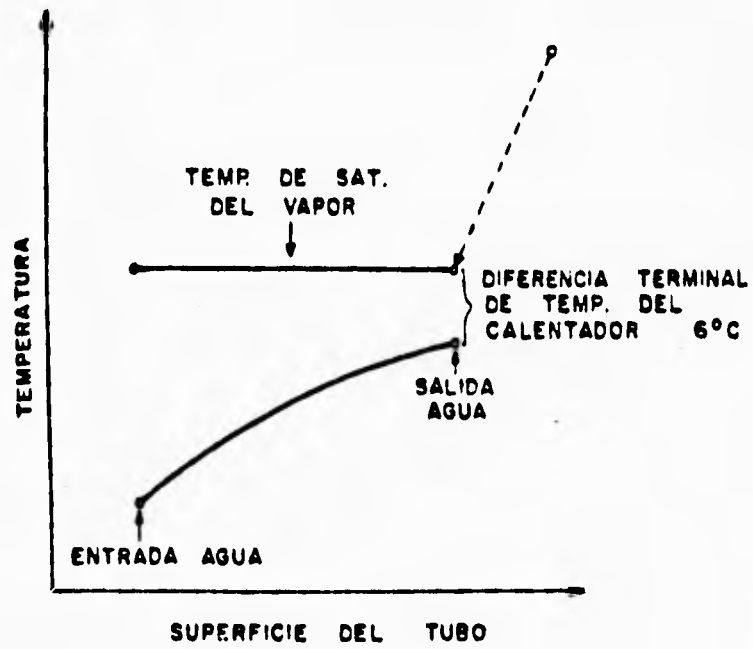
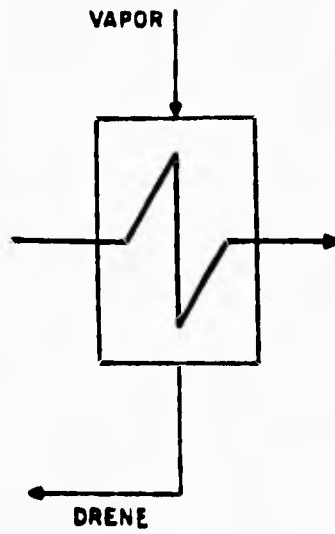
El vapor a medida que fluye a través de cada uno de los pasos de la turbina, se va expansionando y ocupando mayor volumen, por lo que se hace necesario, para evitar la construcción de una turbina de baja presión de dimensiones desproporcionadamente grandes, hacerle sangrados (o extracciones de vapor) las cuales se utilizan en los calentadores de agua, elevando la eficiencia termodinámica del ciclo. Cada calentador de agua, tanto de baja como de alta presión, se encuentra unido a la turbina por una línea o líneas que conducen el vapor de la extracción correspondiente.

El sistema de extracciones, drenes y venteos comienza a operar desde la unidad, ya que, rebasa el 20% de carga y sale de servicio al llegar a esta carga.

Quando el vapor es extraído desde la turbina, es esencial que no exista la posibilidad de un flujo de vapor desde el calentador a la turbina o en caso de que la presión en el punto de sangrado decaiga por debajo de la temperatura de evaporación del condensado en el calentador así como también la inducción de agua hacia ésta, lo cual le ocasionaría daños severos, por lo que el sistema de extracciones de vapor cuenta con dispositivos para evitar lo mencionado anteriormente que consisten en válvulas de corte operadas por motor y válvulas de retención, desde la extracción No. 3 a la 7.

Las características térmicas de un calentador de agua de alimentación pueden ser determinadas por la temperatura diferencial entre el agua que sale del calentador y la temperatura de saturación correspondiente a la presión del vapor del calentador, la diferencia terminal de temperaturas es típicamente cerca de 0°C en un calentador de condensación (Fig. IV.4.9). Es posible obtener cero o aún valores pequeños negativos de diferencia terminal de temperatura por el uso de

CALENTADOR DE SUPERFICIE
Fig. IV.4.9



secciones de sobrecalentamiento cuando los calentadores son alimentados por vapor altamente sobrecalentado. El desobrecalentador puede estar separado del calentado o integrado en él y consiste simplemente de un baffle alrededor de los tubos de salida del agua de alimentación.

Para aumentar el rendimiento del ciclo se emplean también zonas de enfriamiento de drenes.

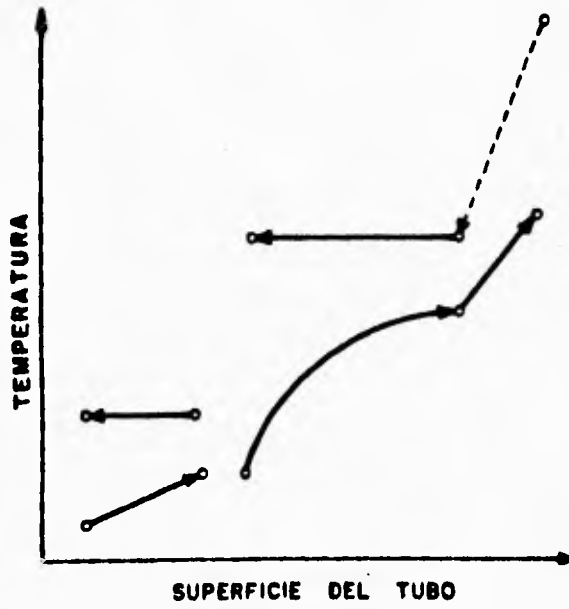
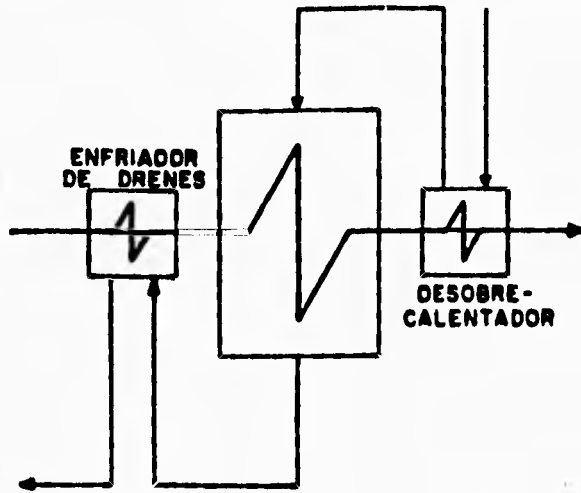
Las características térmicas de un enfriador de drenes o de una sección de enfriamiento de drenes es evaluada por la diferencia terminal de temperatura entre el agua de alimentación que entra y el dren que sale y esta diferencia terminal de temperatura es típicamente cerca de 8°C .

En los calentadores de contacto directo o mezcla (desaerador) el agua puede lograr la temperatura de saturación correspondiente a la presión del vapor de calentamiento y conseguirse una diferencia terminal de temperaturas igual con cero.

En las (Figs. IV.4.10, IV.4.11) se muestran graficadas las características de los calentadores de superficie con sección de desobrecalentamiento y subenfriamiento de drenes separados e integrados en el calentador. En la (Fig. IV.4.12) se muestran las características de un calentador de mezcla y en la (Fig. IV.4.13) se muestra un calentador con zonas de desobrecalentamiento, condensación y subenfriamiento de drenes.

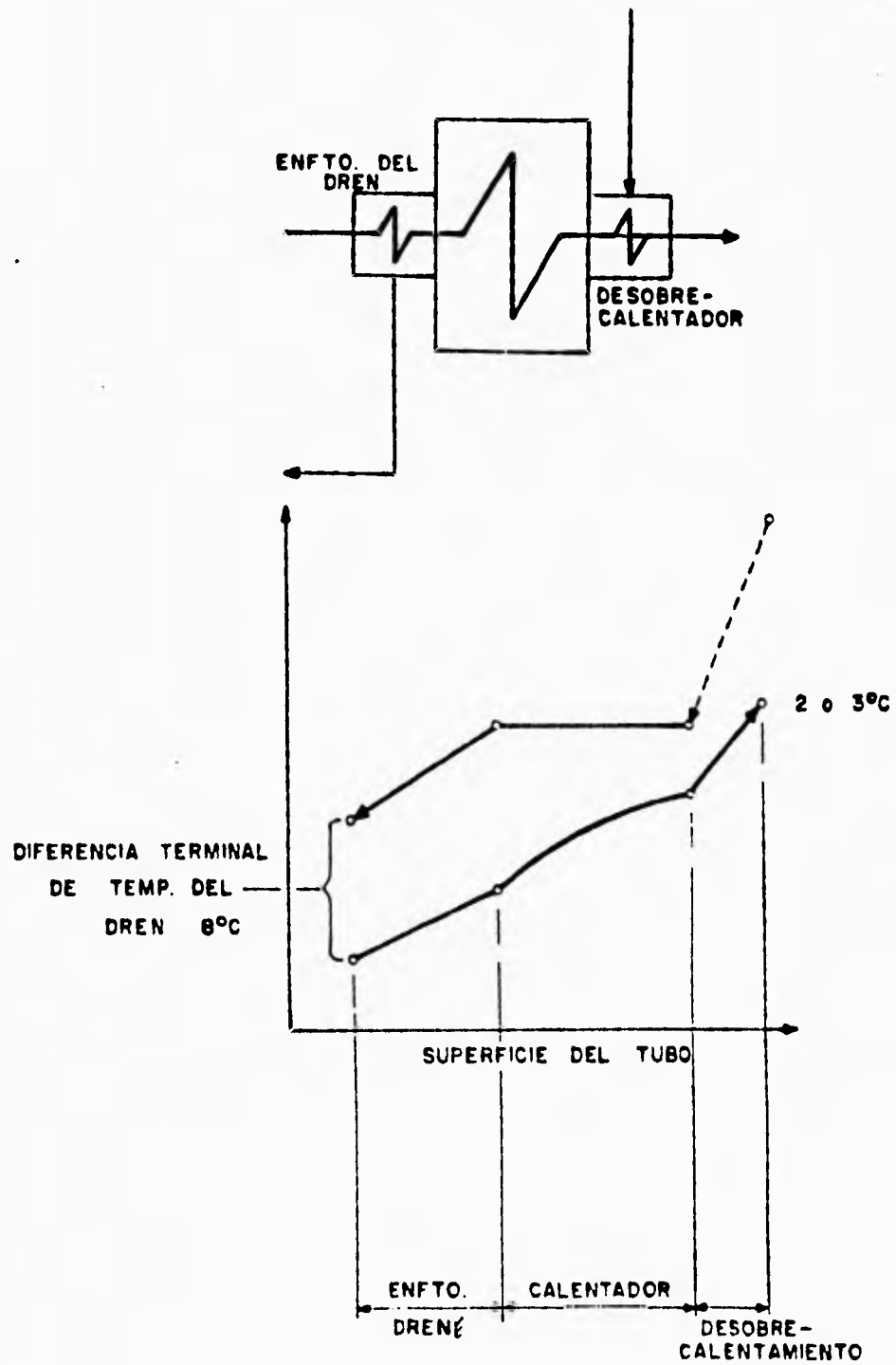
El vapor de las extracciones, al llegar al calentador correspondiente se condensa al ceder su calor al agua a través de los tubos del calentador y se almacena en la carcasa hasta un cierto nivel, drenándose el condensado en cascada, del calentador 7 al 6 de éste al desaerador y en caso de emergencias, desde el calentador hasta el condensador principal. En los calentadores de baja presión sucede lo mismo del calentador 4 al 3, del 3 al 2, del 2 al 1 y de éste al condensador principal y en sucesos de emergencias se drena de cada calentador hacia el condensador principal. El nivel en el calentador es sumamente importante mantenerlo correctamente en su punto de operación normal, ya que no sólo impacta en sus características termodinámicas

CALENTADOR DE SUPERFICIE
Fig. IV.4.10

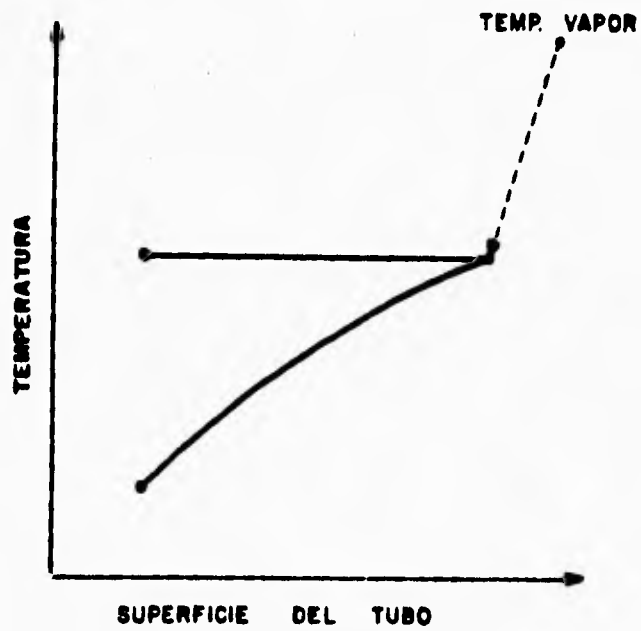
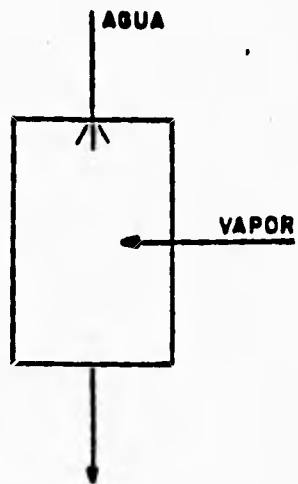


CALENTADOR DE SUPERFICIE

Fig. IV. 4. II.



CALENTADORES DE MEZCLA
Fig. IV. 4. 12.



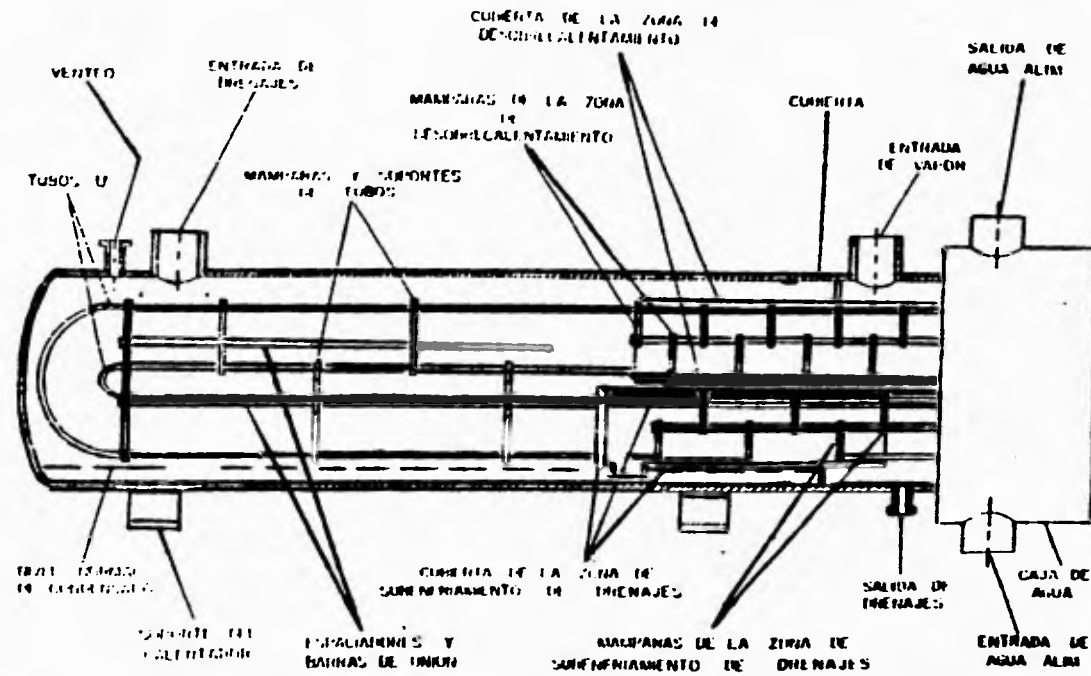


Fig. IV 4.13 CALENTADOR TÍPICO DE AGUA DE ALIMENTACIÓN, CON TRES ZONAS (ZONA DE CALENTAMIENTO, CONDENSACION Y ENRIAJES).

micas, sino que también le ocasiona daños graves.

La mayoría de las roturas de tubos sucede en la zona de enfriamiento de drenes y son del lado vapor más bien que del lado agua de alimentación.

Las fallas son resultados de velocidades excesivamente altas en y alrededor de la zona del enfriador de drenes, estas velocidades son creadas por flujos inapropiados a través de la carcaza y la zona del enfriador de drenes.

El nivel del calentador influye en la caída de presión a través de la carcaza y el enfriador de drenes.

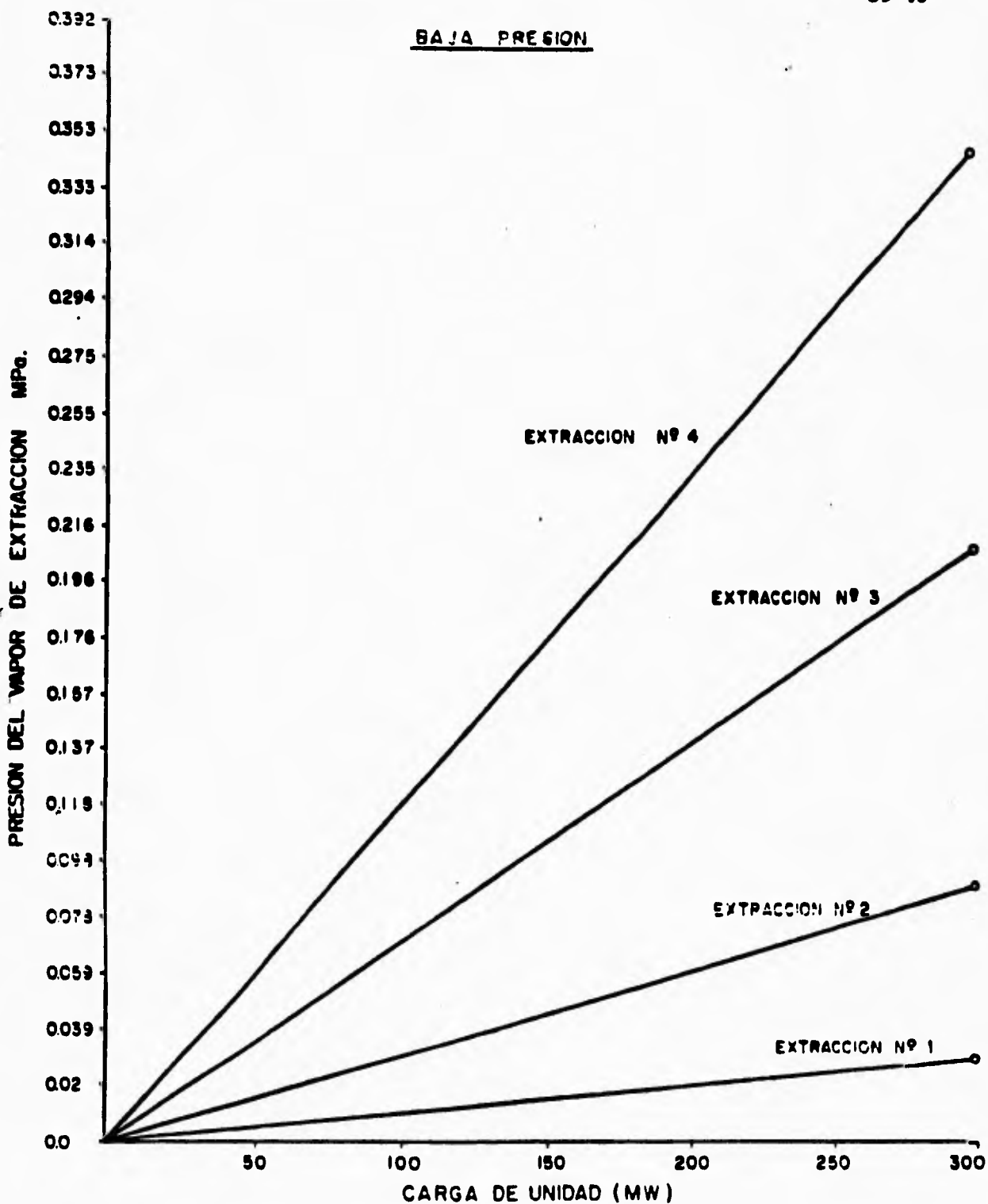
El sistema de drenado del calentador tiene como función básica el regular el flujo de salida de la carcaza. El flujo de vapor desde la turbina es dependiente de la presión en la carcaza del calentador relativa a la presión de la turbina en el punto de extracción. El flujo en la carcaza del calentador es dependiente de la presión en el enfriador de drenes con respecto a la presión en la carcaza y en el área disponible para la transferencia de calor y la subsecuente para la condensación del vapor. El nivel del agua influye en la caída de presión a través de la carcaza porque un cambio de nivel cambiará el área de la superficie disponible para condensar el vapor. Si el nivel del agua se eleva, el área de la superficie disponible para condensar el vapor será menor.

La regulación adecuada del nivel es sin duda la clave para la adecuada operación del calentador y es la responsable de la mayoría de las fallas en sus tubos. Un bajo nivel crea indeseables caídas de presión que estimulan las altas velocidades, perdiéndose el sello de agua en la zona del enfriador de drenes, ocasionándose golpeteos, vibración y por lo tanto daños a los tubos, lo cual finalmente ocasionaría la falla de éstos.

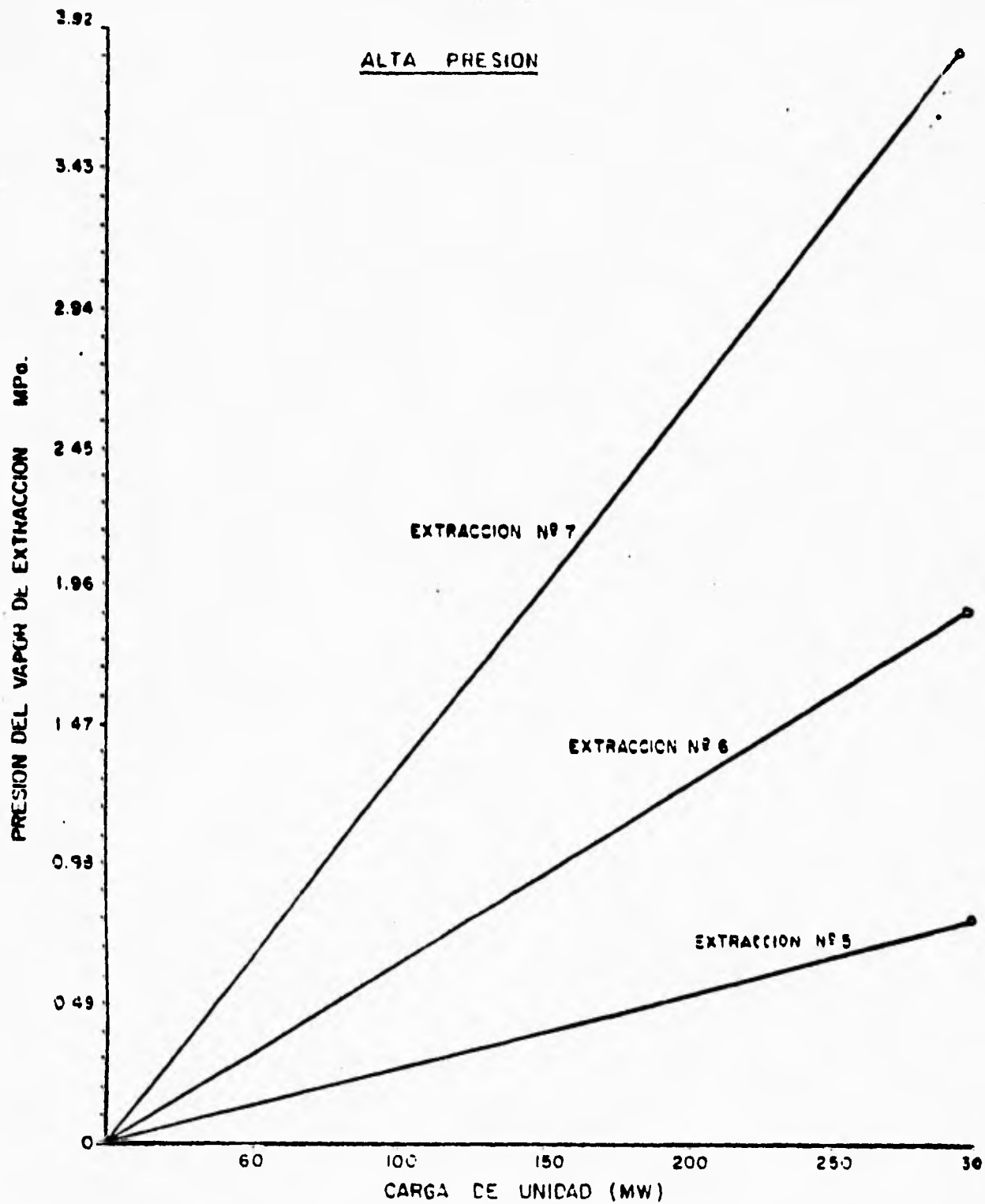
Los niveles muy altos de agua en el calentador disminuyen las características térmicas del calentador y pueden ocasionar inducción de agua hacia la turbina a través de la tubería de extracción dañandola seriamente. Además ocasiona que el flujo de vapor a través de la tur-

bina aumenta con lo que se produce un desplazamiento del rotor de la -
misma.

Como se aprecia en las (Figs. IV.4.14 ,IV.4.15) la presión de
vapor de las extracciones depende de la carga de la Unidad.



PRESION - VAPOR EXTRACCIONES - CARGA DE UNIDAD
Fig. IV. 4. 14



PRESION VAPOR EXTRACCIONES - CARGA DE UNIDAD
Fig. IV. 4. 15

IV.5 SISTEMA AGUA-VAPOR (GENERACION DE VAPOR)(Fig. IV. 5.1).

El generador de vapor tiene como finalidad producir vapor de ciertas características, para lo cual primeramente debe suministrarse agua de alimentación, la cual es recibida por el sistema que nos ocupa y que abarca desde el economizador hasta el domo superior con sus dispositivos internos, incluyendo las tuberías de bajada, bombas de circulación forzada, domo inferior o de lodos, paredes de agua y tanque de evaporación instantánea (flasheo).

Este sistema tiene como finalidad, producir el vapor saturado seco, que posteriormente se introducirá al sobrecalentador para darle las características nominales de temperatura que se requieren para la operación de la turbina.

DESCRIPCION DEL EQUIPO PRINCIPAL.

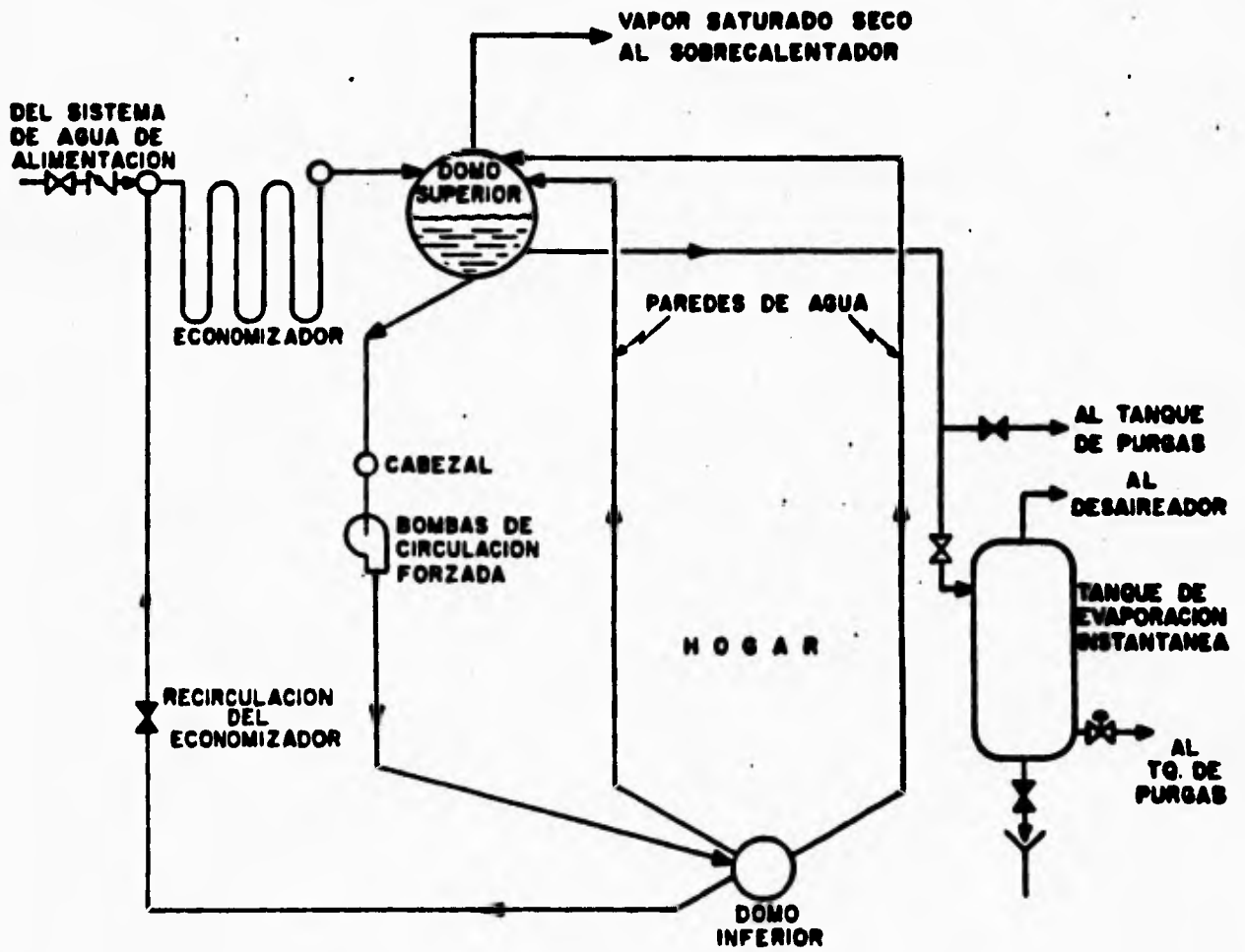
ECONOMIZADOR.

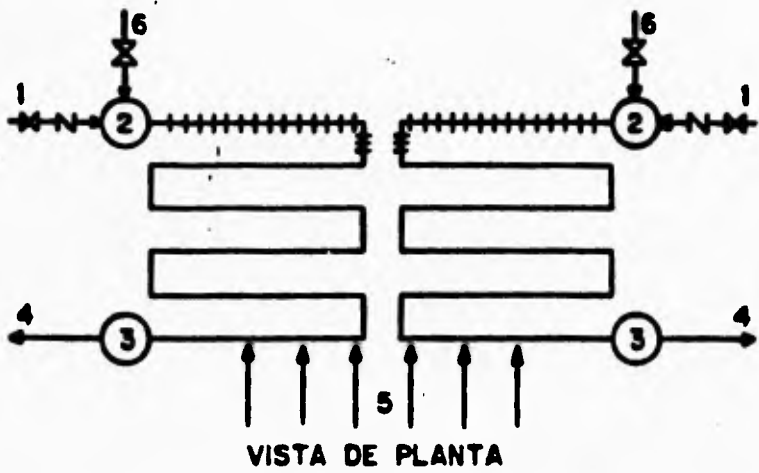
La función que desempeña este equipo, es precalentar el agua de alimentación del generador de vapor antes de que sea introducida en el domo, recuperando parte del calor que todavía contienen los gases de la combustión al abandonar el generador de vapor, con lo cual se mejora su eficiencia.

El economizador se encuentra ubicado en el paso de gases a la salida del generador de vapor y está compuesto por dos bancos de elementos paralelos arreglados en filas horizontales, los bancos están dispuestos uno frente a otro, los tubos del economizador tienen una aleta espiral para aumentar la superficie efectiva de calentamiento tal como se muestra en la (Fig. IV.5.2).

El agua de alimentación se suministra al economizador a través de los cabezales de entrada, pasando por las válvulas de bloqueo y

Fig IV .5.1 DIAGRAMA SIMPLIFICADO





- 1 DEL SIST. AGUA ALIMENTACION
- 2 CABEZAL DE ENTRADA
- 3 CABEZAL DE SALIDA
- 4 AL DOMO SUPERIOR
- 5 FLUJO DE GASES
- 6 RECIRCULACION

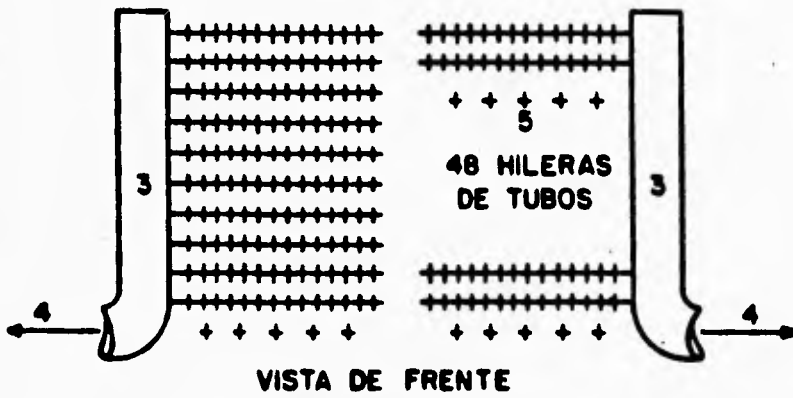


FIG. IV.5.2 DISPOSICION DEL ECONOMIZADOR.

por las válvulas de retención (check). El agua fluye en contraflujo a través del economizador absorbiendo el calor de los gases de combustión y al salir de él, es conducida directamente al domo superior.

Al cabezal de entrada del economizador llegan 2 líneas provenientes del domo inferior o de lodos, las cuales permiten establecer un flujo de agua de enfriamiento a través de los tubos del economizador en arranques y bajas cargas.

DOMO SUPERIOR.

Este equipo se encuentra localizado en la parte superior del generador de vapor y tiene como finalidad recibir, almacenar y distribuir el agua de alimentación a los tubos bajantes, así como también recibir la mezcla de agua y vapor en ellas para que los dispositivos internos del domo separen las partículas de agua del vapor, antes de ser éste alimentado al sobrecalentador.

El domo está construido de placas metálicas gruesas y cabezales semiesféricos, para resistir las grandes presiones de trabajo.

Los dispositivos internos del domo para la separación del vapor son las siguientes de acuerdo a la (Fig. IV.5.3).

- Separadores primarios
- Separadores secundarios
- Un secador final.

SEPARADORES PRIMARIOS O SEPARADORES CICLONICOS.

Constituyen el primer paso de la separación, las cuales hacen girar la mezcla de agua/vapor, para que por efecto de la fuerza centrífuga el agua sea proyectada hacia las paredes del separador y el vapor fluya por el centro, contribuyendo además a la separación de sólidos.

Sobre el borde de la pared interna del separador ciclónico se encuentra un colector que recoge el agua que ha sido forzada hacia el exterior y la regresa a la masa de agua del domo y consiste de

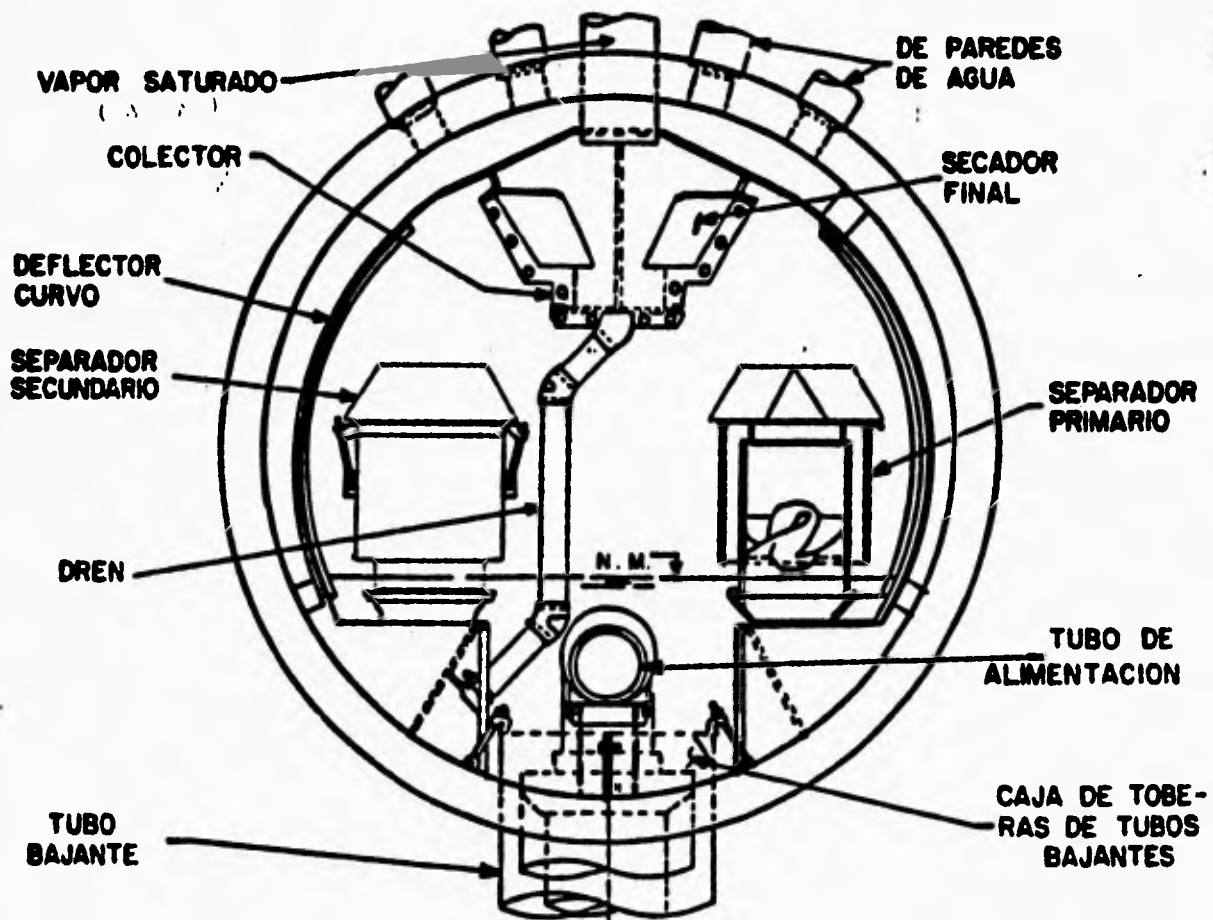


FIG. IV. 5. 3 . DISPOSITIVOS INTERNOS DEL DOMO .

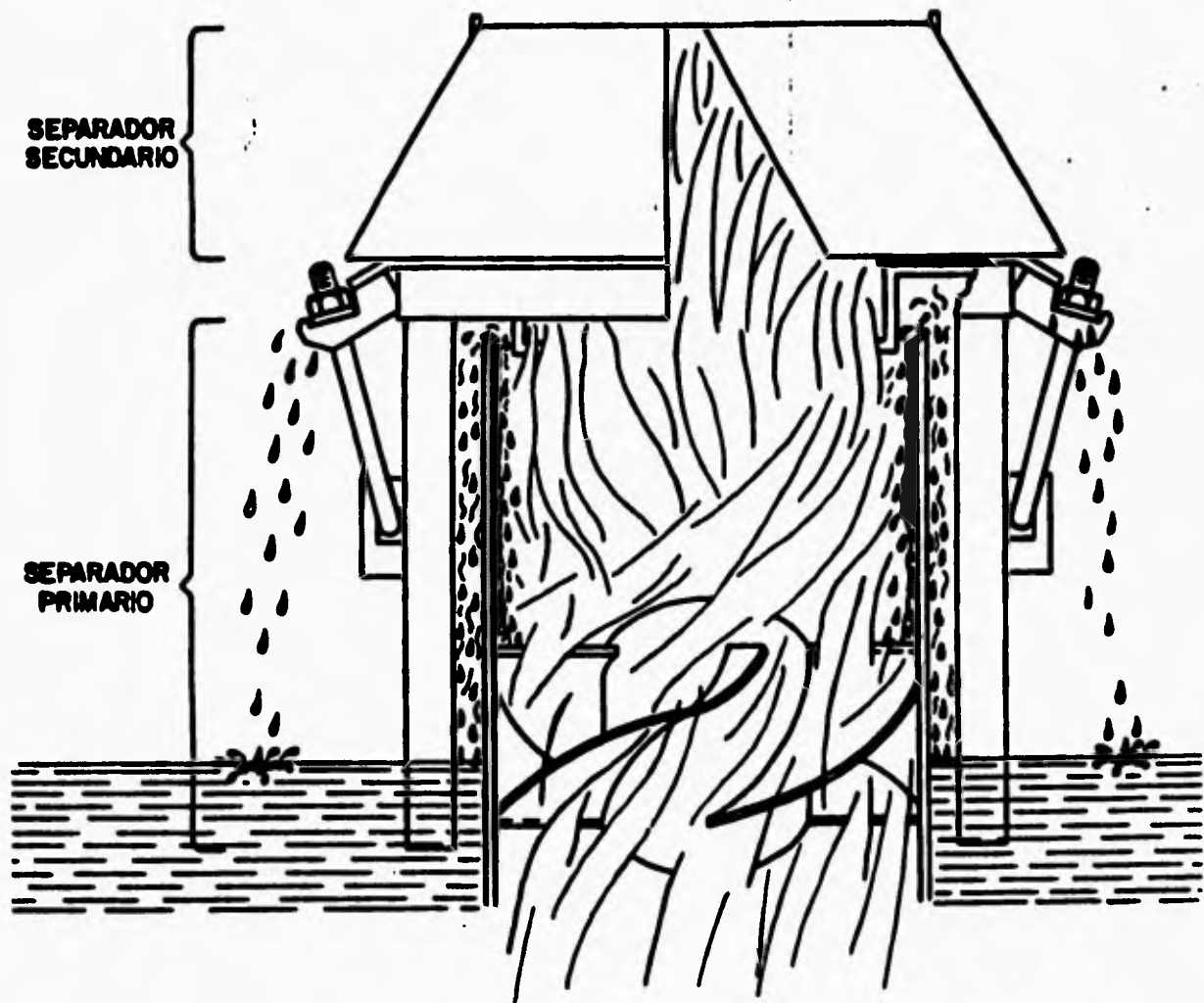


FIG IV. 5 .4. ARREGLO INTERNO DEL SEPARADOR PRIMARIO.

una cámara que rodea la cámara interna en donde se encuentra el ciclón el fluido rico en vapor descarga hacia el separador secundario ver (Fig. IV.5.4).

SEPARADORES SECUNDARIOS.- Se encuentran localizados justo arriba de los separadores ciclónicos, los cuales constan de dos bancos opuestos, con muy poca separación entre sí, de hojas metálicas corrugadas, las cuales cambian continuamente la dirección del vapor, forzando el contacto de las pequeñas gotas de agua con la película de agua que se forma sobre las placas. Como la velocidad de la mezcla agua-vapor es relativamente baja el agua que no puede ser nuevamente recogida de la superficie de las hojas y por lo tanto cae, a la masa de agua. El caudal de salida de vapor es descargado en el espacio superior del domo.

SECADOR FINAL.- Es un tamiz secador hacia donde se dirige el vapor al salir del separador secundario, el cual está diseñado para eliminar cualquier cantidad de humedad que lleve todavía el vapor, la cual retorna por gravedad, a través de un dren, a la masa de agua.

El domo superior tiene las siguientes dimensiones: Longitud= 17.6 m. espesor de paredes = 16.6 cm. y diámetro interior 1.7 m. Cuenta con dos indicadores locales de nivel del agua, localizados uno en cada extremo del domo. Estos indicadores visuales dan una lectura confiable cuando se sospecha que los indicadores remotos no están operando correctamente, o simplemente cuando es necesario calibrarlos. También se cuenta con cuatro válvulas de seguridad que abrirán cuando existan sobrepresiones, las cuales están ajustadas para operar a los siguientes valores:

- PSV 6404 = 19.71 MPa
- PSV 6405 = 19.93 MPa
- PSV 6424 = 20.14 MPa
- PSV 6406 = 20.28 MPa

BOMBAS DE CIRCULACION FORZADA.(Fig. IV.5.5)

El generador de vapor cuenta con 2 bombas de circulación forzada, las cuales facilitan la circulación a través de las paredes de agua, haciendo con esto que la producción de vapor sea más eficiente. Estas bombas succionan de un cabezal común, alimentado por las 6 tuberías de bajada (down-comers); cada bomba descarga a través de 2 tuberías, que vienen a ser la continuación de las tuberías de bajada hasta el domo inferior.

Las características principales de las bombas de circulación forzada son las siguientes:

MOTOR:

Tipo	: De inducción de estator húmedo
Capacidad	: 1000 HP
Voltaje	: 4000 Volts
Amperaje	: 153 AMP
RPM	: 1596
CPS	: 60
Fases	: 3

BOMBA:

Tipo	: Centrífuga
Gasto	: 3610 m ³ /Hr.
Temp. de bombeo	: 359° C.
Pres. de succión	: 17.1 MPa.

Cuando la bomba se encuentra en servicio el calor que genera tanto de los devanados del motor, como del calor transmitido a través de la flecha, es absorbido por el agua del sistema de enfriamiento del motor la cual es agua desmineralizada (no conduce la electricidad) El motor es del tipo de estator húmedo, además está embobinado con cables especiales sumergibles ya que está sometido a la presión de trabajo del sistema (17.1 MPa en condiciones nominales). El agua de enfriamiento del motor es forzada a circular por medio de un impulsor-

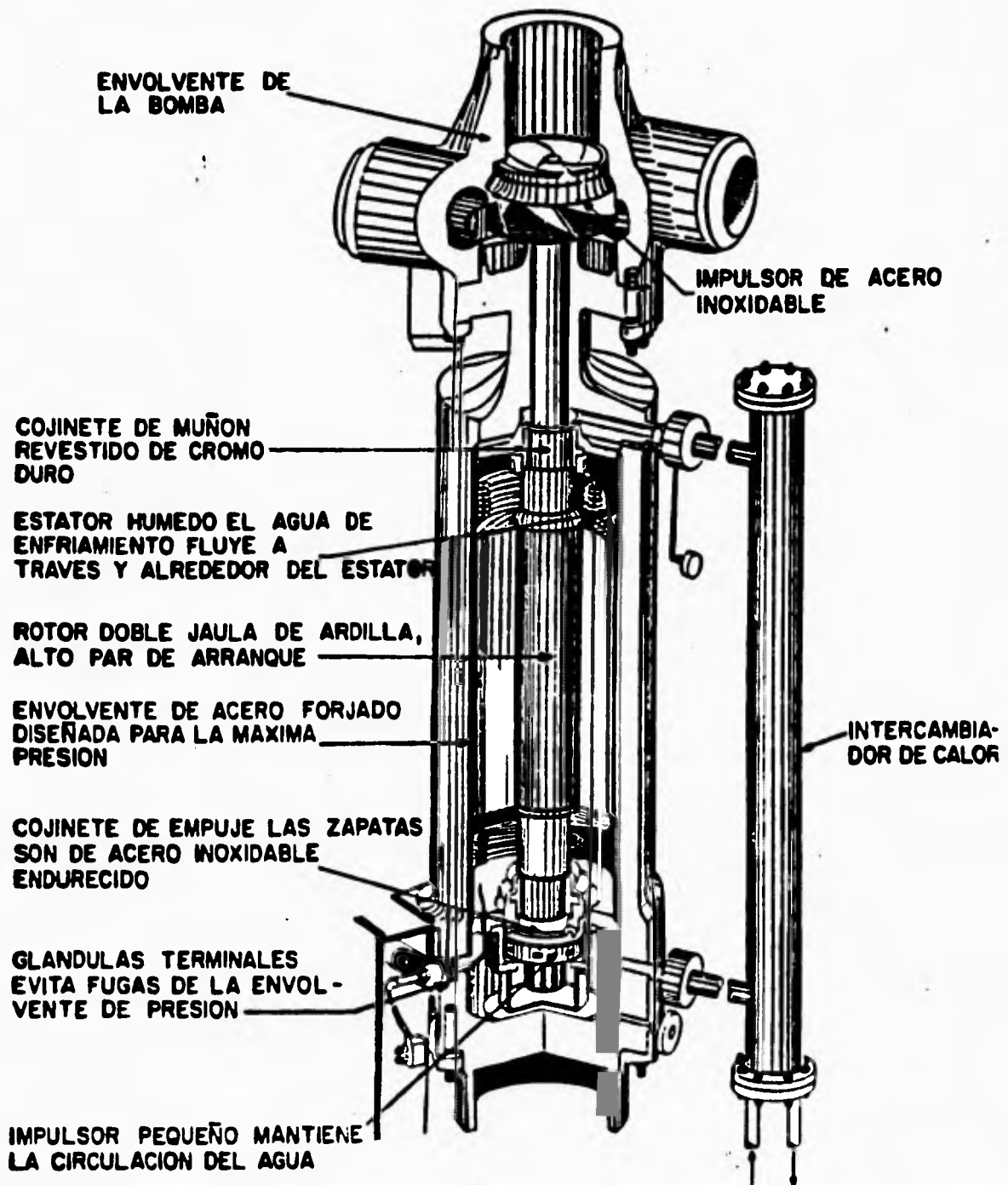


FIG IV. 5.5. PARTES INTERNAS DE UNA BOMBA DE CIRCULACION FORZADA.

que se encuentra en la parte inferior del motor. El agua circula - continuamente a través de los baleros, devanados del estator del motor y el cambiador de calor formando un circuito cerrado (Fig. .

IV.5.6)

Cuando el motor está fuera de servicio el enfriamiento que se - tiene únicamente por la circulación natural que se establece debido a las diferencias de densidades entre el agua fría y caliente.

El calor que es absorbido por el agua demineralizada de enfriamiento, es disipado en un intercambiador de calor (Externo al motor), donde el agua desmineralizada circula por el exterior de los tubos, y el agua de servicios que es la que enfría al agua desmineralizada, circula por el interior de los tubos efectuando un recorrido de dos pa - sos. El sistema de enfriamiento de agua de servicios cuenta con una - línea de respaldo que viene del sistema de contra incendios, para tener siempre la seguridad de que se va a tener enfriamiento aún cuando las bombas de agua de servicios puedan fallar, o cuando haya pérdida - de C.A. en la Central utilizando la motobomba de contra incendios.

Las bombas de circulación forzada cuentan con alarma por "alta - temperatura del agua del motor", la cual opera a 57°C y hay disparo del motor cuando la temperatura llega a 60°C. También se tiene alarma por "bajo flujo de agua de enfriamiento", la cual opera cuando se tiene un flujo menor de 227 LPM. Se tiene esta alarma para prevenir en caso de que el flujo de agua de enfriamiento del sistema de agua de servicios descienda del valor antes señalado, y se puedan tener - problemas de calentamiento del motor. El generador de vapor tiene - implementado su disparo en el caso de una baja presión diferencial - entre el cabezal de succión y de descarga de las bombas de circula - ción forzada, para evitar que sea deficiente o nula la circulación del agua por el interior de los tubos de las paredes y puedan llegar a fallar. El disparo está calibrado a 83 KPa.

Para la operación de las bombas de circulación forzada se deben tener muchos cuidados, antes de ponerla en servicio como en operación normal, ya que sus condiciones de trabajo son extremas. Antes de ini-

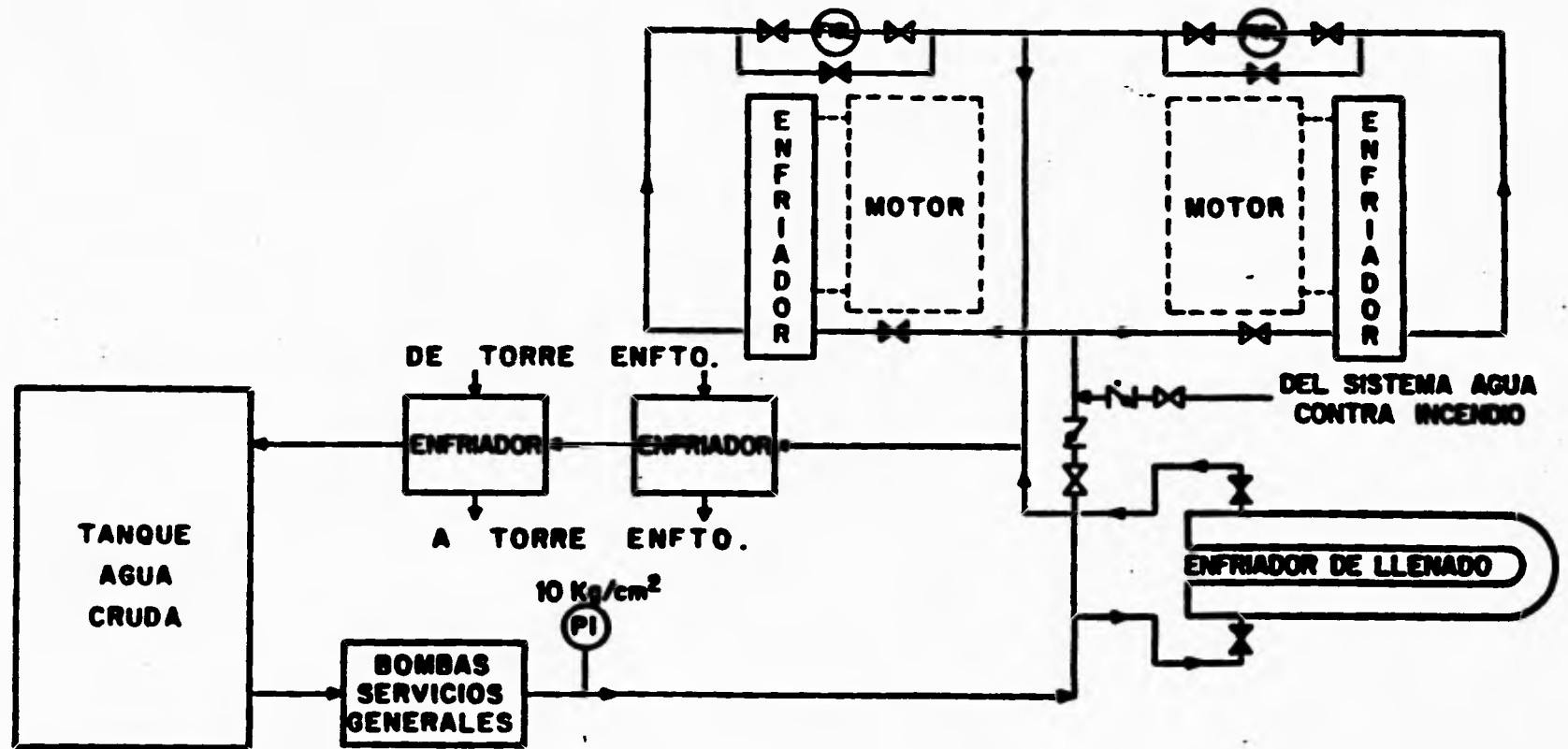


FIG. IV.5.6. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO SECUNDARIO DE BOMBAS DE CIRCULACION FORZADA.

ciar el llenado de la caldera y poner en servicio una bomba, el motor se debe llenar con agua desmineralizada, de ninguna manera tiene que girar el motor en seco, ya que sus cojinetes son lubricados y enfriados con agua. Para el llenado del motor se debe utilizar agua desmineralizada fría, debido a la complejidad de los pasajes del motor, es necesario llenarlo muy lentamente para que todo el aire sea desplazado. Es recomendable un rango de llenado de 2 a 3 Lts/min. El llenado del motor normalmente se efectúa por medio del sistema de condensado, y en caso de que se requiera se tiene también una línea de la descarga de las bombas de agua de alimentación (Fig. IV.5.7).

La línea de llenado del sistema de agua de alimentación, también se utiliza para proporcionar un enfriamiento forzado cuando alguna bomba de circulación forzada se encuentra fuera de servicio y su enfriamiento natural no sea suficiente y la caldera está en operación.

DOMO INFERIOR.

El domo inferior tiene las siguientes dimensiones: Longitud 12.7 m., espesor de paredes = 9.4 cma. y diámetro interno 0.864 m. Recibe la descarga de las bombas de circulación forzada y cuenta con orificios de distribución mediante los cuales se logra un flujo uniforme a través de las 4 paredes sin importar su trayectoria. En el interior del domo inferior se tiene una mampara en su longitud compuesta de paneles perforados, y que sirve como medio filtrante, para evitar que materias sólidas grandes sean llevadas hacia las paredes de agua. La entrada a las líneas de circulación también tiene mamparas perforadas (Fig. IV.5.8).

PAREDES DE AGUA.

Las paredes de agua son las superficies de generación de vapor, las cuales están compuestas de los tubos aletados longitudinalmente, soldados a fusión, formando una superficie metálica completa.

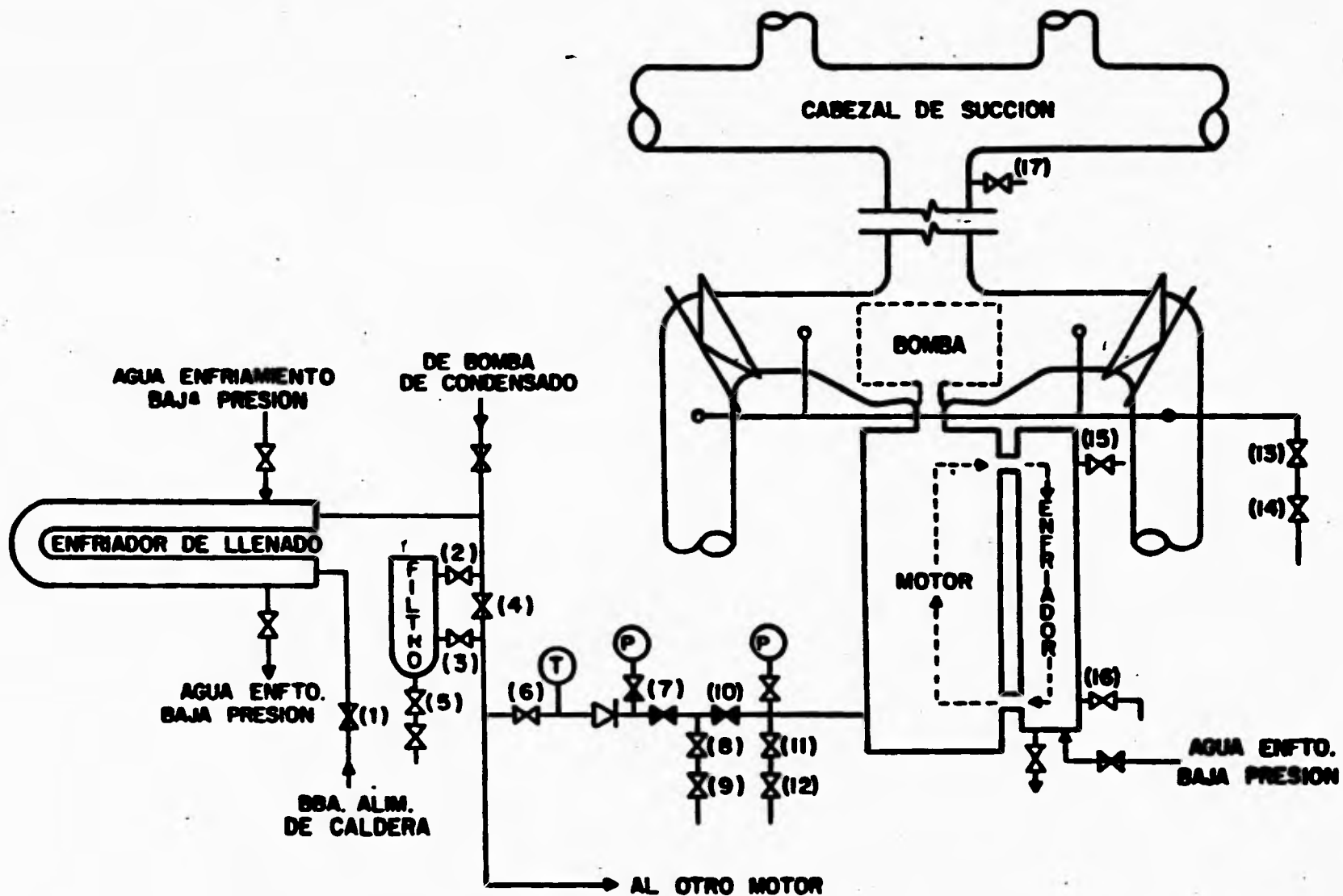


FIG. IV. 5. 7. DISPOSICION DE VALVULAS PARA EL LLENADO DE LAS BOMBAS DE CIRCULACION FORZADA.

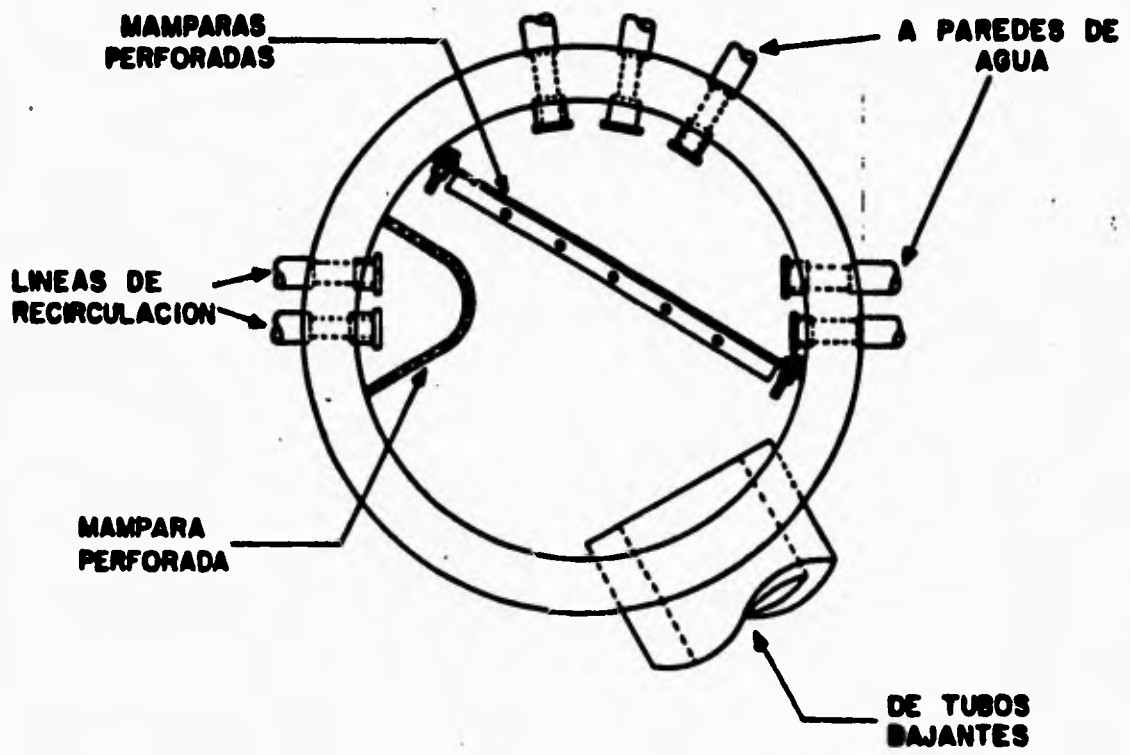


FIG. IV.5.8. ARREGLO DEL DOMO INFERIOR

Desde el domo superior, a través de las 6 tuberías de bajada se suministra agua al domo inferior, del cual se reparte a las paredes de agua. Cada una de las 2 paredes de agua laterales consisten de 208 tubos de 3.81 cm. de diámetro exterior, terminando en el cabezal de salida, el cual descarga la mezcla de agua y vapor, dentro del domo a través de 74 tubos ascendentes.

La pared de agua posterior contiene 244 tubos de 3.81 cm. de diámetro exterior. A una elevación de 48.7 m. estos tubos continúan para formar el techo, los cuales descargan directamente dentro del cabezal superior de las paredes de agua.

La pared de agua frontal consta de 242 tubos de 3.81 cm. de diámetro exterior, los cuales descargan directamente dentro del cabezal superior de las paredes de agua, (Fig. IV.5.9).

La circulación del agua por las paredes es del tipo forzada, de esta manera se tienen grandes ventajas con respecto a la circulación natural. Algunas de ellas son las siguientes:

Siempre existirá un flujo adecuado por el interior de los tubos, con lo cual se reduce la posibilidad de que tengan incrustaciones y por consecuencia sobrecalentamiento y falla en el metal de los tubos; menor diámetro de los tubos; se reducen los tiempos de calentamiento en los arranques.

La presión y temperatura nominal a que están sometidas las paredes es aproximadamente 18.7 MPa y 355°C.

Las paredes de agua de la caldera absorben el calor radiante de la combustión, con lo cual parte del agua que contienen los tubos se vaporiza y esta mezcla de agua y vapor es descargada en el domo superior para su separación.

TANQUE DE EVAPORACION INSTANTANEA (FLASHEO).

Este equipo tiene como finalidad recibir el producto de las extracciones que se le hacen al domo con la purga continua con el objeto de recuperar parte del agua y de la energía que aún contiene.

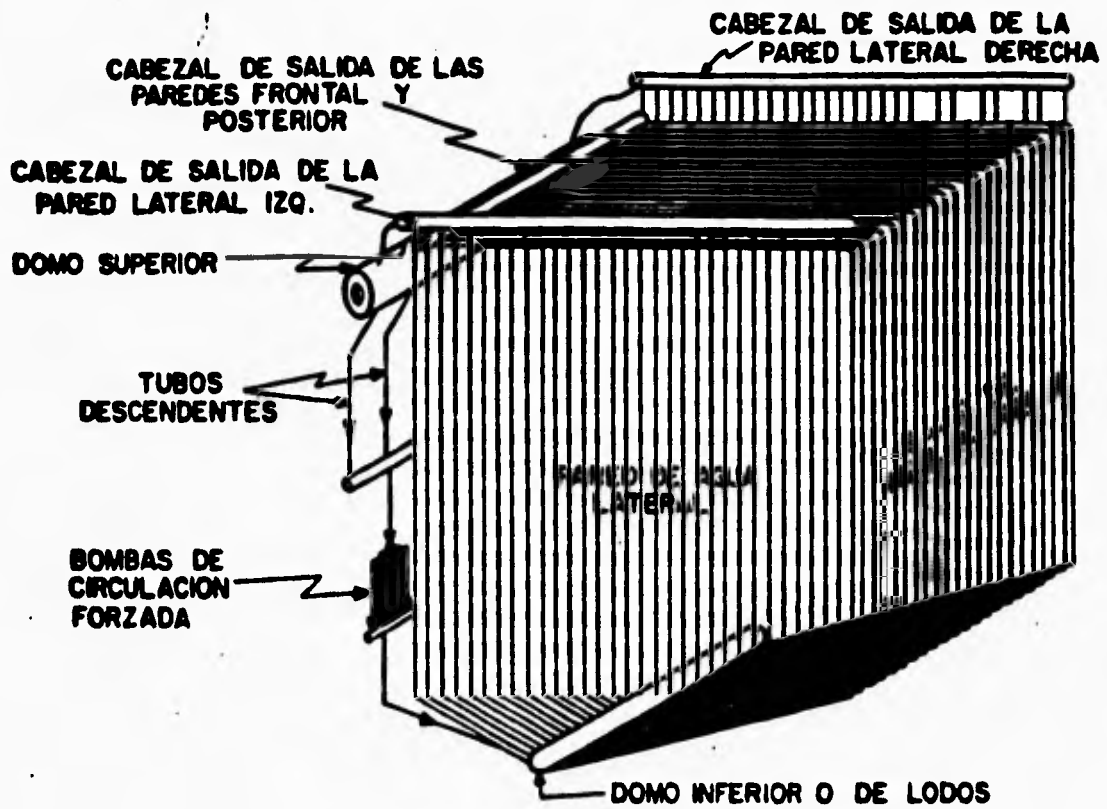


FIG. IV. 5.9

La purga continua del domo se usa como un medio para controlar - las concentraciones en el agua del generador de vapor alcalinidad, sílice, cuando estas concentraciones se encuentran arriba de los valores permitidos se abre la válvula de purga continua y una cantidad de agua es drenada al tanque de evaporación instantánea, en el cual parte de esta agua se evapora instantáneamente (flasheo) debido a que de una - zona de alta presión súbitamente se encuentra en una "zona de baja presión". El vapor así formado el cual es libre de impurezas es conducido hasta el desaireador donde se reintegra el ciclo y el agua que - queda en el tanque de evaporación instantánea con una alta concentración de sólidos, será drenada al tanque de purgas misceláneas para - posteriormente derramarse al drenaje. Durante un arranque de unidad - la purga continua se manda directamente al tanque de purgas misceláneas.

DESCRIPCION FUNCIONAL DEL SISTEMA.

El agua de alimentación llega a los cabezales de entrada del economizador, de donde se distribuye a todos los tubos del mismo.

El agua de alimentación circula por el interior de los tubos del economizador y los gases de la combustión por el exterior, produciéndose un intercambio de calor de los gases al agua, lo que permite que el agua de alimentación incremente su temperatura y que al llegar al domo tenga una temperatura cercana a la de saturación (temperatura a la que el agua empieza a vaporizarse) correspondiente a la presión existente en el domo.

En el economizador se tienen dos líneas de recirculación que vienen del domo inferior y llegan a sus cabezales de entrada, en operación normal deberán permanecer con sus válvulas de bloqueo, cerradas y en los arranques y paros, abiertos, para permitir que se establezca un - flujo de agua refrigerante a través de los elementos del economizador y cerrándose al 20% de carga.

El agua de alimentación es conducida hasta el domo superior a -

través de 2 tuberías, e introducida a él por sus extremos a través de un cabezal interno que va a todo lo largo del domo, este arreglo es con el fin de evitar inestabilidad en el nivel del domo a la hora de ser alimentado y para mantener uniforme la temperatura a todo lo largo del mismo.

El nivel del agua en el domo se deberá mantener en el nivel cero de los indicadores, el cual se encuentra a 30 cm. abajo del centro geométrico del domo. Como se aprecia en la (Fig. IV.5.10)

Para protección de la unidad el nivel del domo cuenta con alarmas y disparos por alto y bajo nivel. Cuando se presenta disparo por alto nivel domo, este actúa sobre la turbina, para protegerla por posibles arrastres de agua y cuando opera el disparo de bajo nivel, este actúa sobre el generador de vapor para evitar falla en las paredes del agua por falta de enfriamiento.

El agua desciende a través de 6 tuberías de bajada (down-comers) hasta el cabezal común de succión de las bombas de circulación forzada en el cual se encuentra la línea de dosificación de fosfatos. Cada bomba de circulación forzada descarga el agua a través de dos líneas que llegan hasta el domo inferior, a una presión tal que se deberá mantener una presión diferencial entre la succión y la descarga, superior a 83.0 KPa ya que a este valor se encuentra ajustado el disparo del generador de vapor por baja presión diferencial de las bombas de circulación forzada.

Del domo inferior o de lodos, el agua es distribuida a las paredes del agua, donde ascenderá debido a la presión proporcionada por las bombas de circulación forzada y por el fenómeno de convección. Al ir ascendiendo el agua por el interior de los tubos de las paredes, la combustión que se lleva a cabo en el hogar, incrementa su temperatura de tal forma que una parte del agua se evapora y al domo llega una mezcla de agua y vapor conteniendo del 20 al 40% de agua. Esta mezcla se hace pasar por los separadores primarios (ciclónicos) y secundarios donde el agua es separada del vapor.

El vapor al salir de los separadores secundarios es uniformemen-

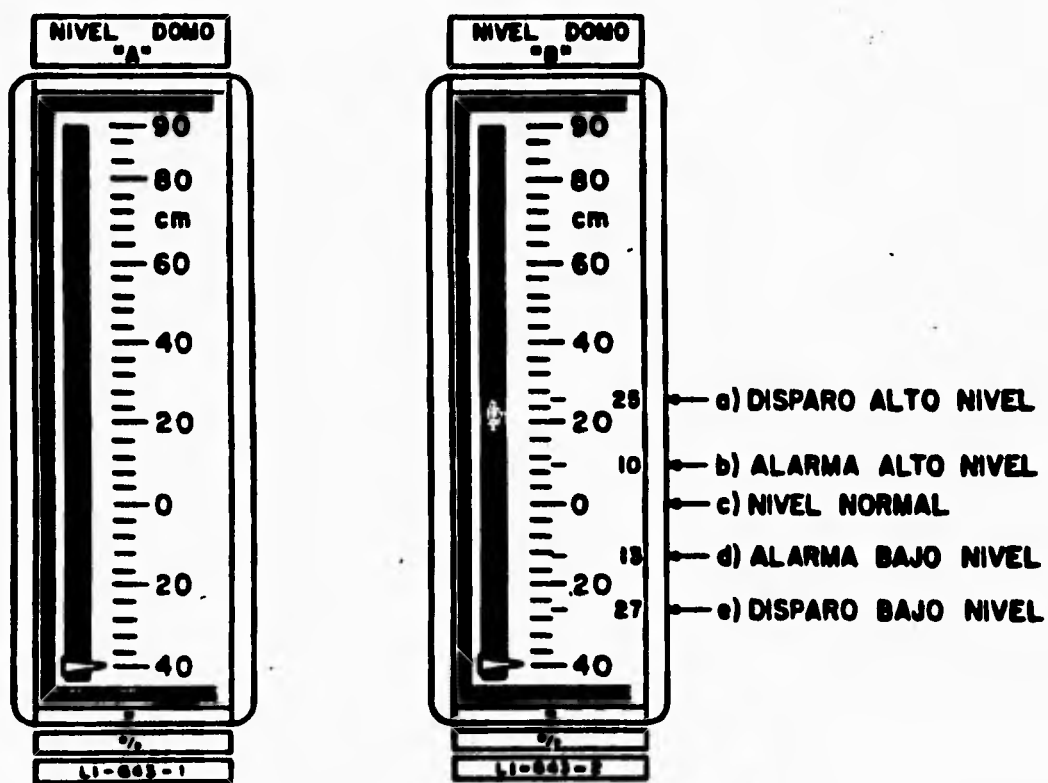
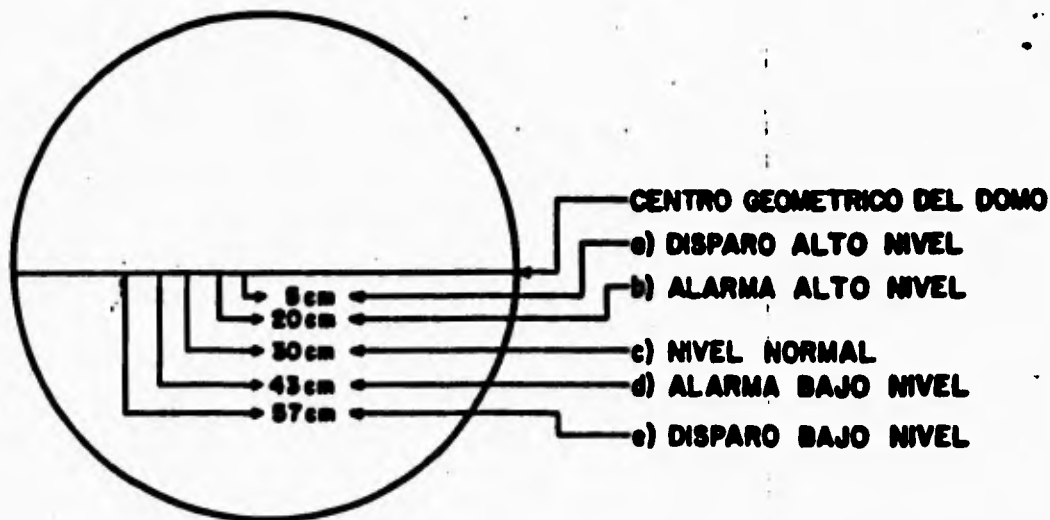


FIG. IX.5.10. LOCALIZACION DEL NIVEL DEL DOMO

te distribuido en el domo y fluye hacia los tamices secadores (tercer paso de separación) con una velocidad relativamente baja, con lo cual se sedimenta algún rocío durante el paso del vapor a través del domo. lo que prácticamente constituye un cuarto de paso de separación. Por último el vapor fluye hacia el sobrecalentador pasando por el 3er. paso de separación (tamices) donde se le elimina cualquier cantidad de agua que pudiera llevar todavía vapor.

IV.6 SISTEMAS DE VAPOR SOBRECALENTADO Y RECALENTADO

Las turbinas de las Centrales Termoeléctricas, de gran capacidad utilizan el vapor de alta presión con sobrecalentamiento y recalentamiento para generar grandes potencias.

Los sistemas que se encargan de darle al vapor las características requeridas por la turbina, son el sistema de vapor sobrecalentado y el sistema de vapor recalentado del generador de vapor (Fig. IV.6.1.) La función de estos sistemas es incrementar la temperatura del vapor saturado y del vapor recalentado frío, para aumentar la energía y evitar problemas de erosión en la turbina.

A continuación se hará una descripción de cada uno de los elementos que constituyen estos sistemas, así como su localización y funcionamiento.

SISTEMA DE VAPOR SOBRECALENTADO (Fig. IV. 6.2.)

Este sistema se encarga de incrementar la temperatura del vapor saturado seco, proveniente del domo, hasta que adquiere el sobrecalentado requerido por la turbina para su óptimo funcionamiento.

Los componentes principales de este sistema son:

- Sobrecalentador
- Drenes y venteos
- Atemperadores
- Válvulas de seguridad

DESCRIPCION DEL EQUIPO PRINCIPAL

SOBRECALENTADOR

El sobrecalentador del generador de vapor se divide en 3 secciones: el sobrecalentador de baja temperatura, sobrecalentador de intermedia y el sobrecalentador de alta temperatura.

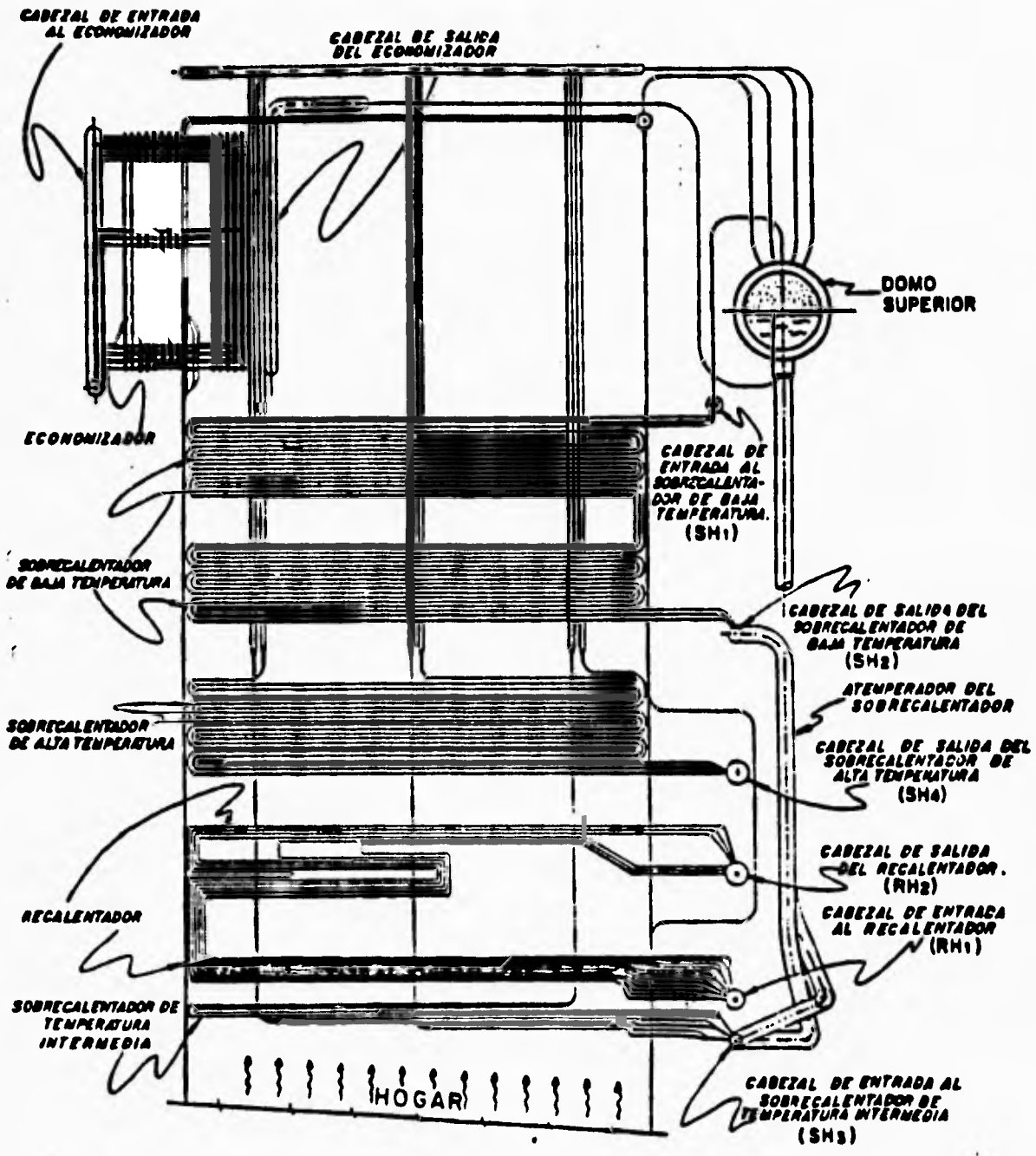
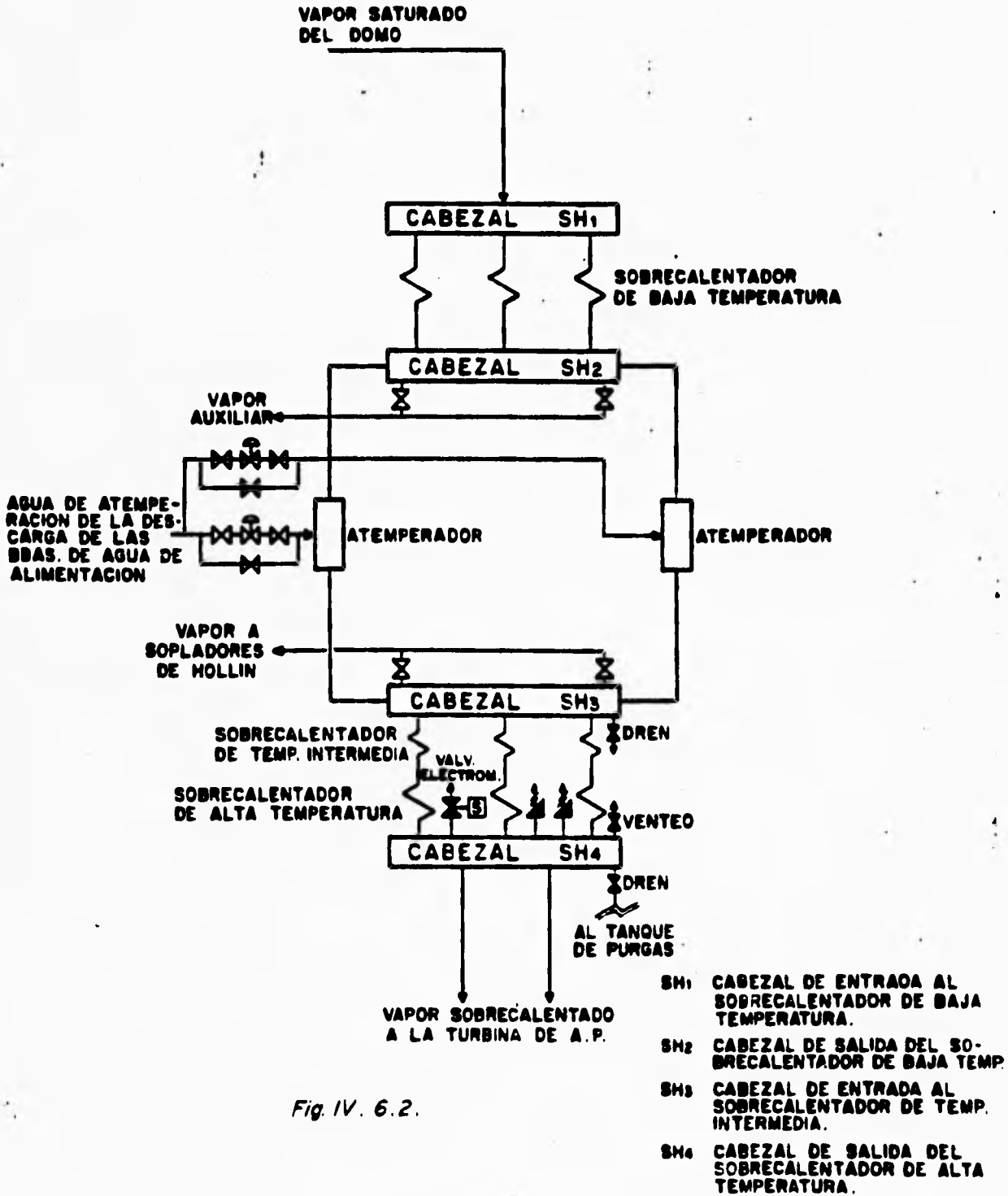


Fig. IV. 6 . 1

DIAGRAMA SIMPLIFICADO DEL SISTEMA DE VAPOR SOBREALETADO.



El sobrecalentador de baja temperatura es una serie de tubos horizontales arreglados en forma de serpentín colgante, que se localizan entre el cabezal SH₁ y el cabezal SH₂.

Del cabezal SH₂ salen 2 líneas hacia el cabezal SH₃, las cuales interconectan al sobrecalentador de baja temperatura con el sobrecalentador de temperatura intermedia. En cada una de estas líneas se encuentra instalado un atemperador para controlar la temperatura del vapor sobrecalentado.

Del cabezal SH₂ se deriva la línea de suministro para el vapor auxiliar, y del cabezal SH₃ se deriva la línea que alimenta al sistema de sopladores de hollín.

Del cabezal SH₃ parten los tubos del sobrecalentador de intermedia y ascienden hasta la parte superior de la caldera para luego descender y servir de soporte al sobrecalentador de alta temperatura.

El sobrecalentador de alta temperatura es una continuación del sobrecalentador de temperatura intermedia, arreglado en forma de serpentín horizontal colgante, el cual termina en el cabezal de salida SH₄. Esta sección del sobrecalentador se localiza entre el sobrecalentador de baja temperatura y el recalentador (Fig. LV.6.1).

Por la disposición que guarda el sobrecalentador dentro del generador de vapor se cataloga como mixto debido a que las secciones de baja y alta temperatura son de convección y la sección de temperatura intermedia es de radiación.

DRENES Y VENTEOS.

El sobrecalentador dispone de 2 drenes y un venteo, denominados de acuerdo al cabezal en el que se encuentren localizados, como:

- Dren del cabezal SH₃.- Sirve para desalojar el posible condensado de los elementos del sobrecalentador de baja temperatura y temperatura intermedia en los arranques.

- Dren del cabezal SH₄.- Garantiza un flujo de vapor a través del sobrecalentador durante el encendido del generador de vapor y el rodado de turbina, y también para controlar la presión y temperatura del vapor principal en los arranques de unidad. Otra finalidad de este dren es la de eliminar los posibles condensados en los elementos del sobrecalentador.
- Venteo del cabezal SH₄.-Por él se elimina durante los arranques fríos de la unidad, el aire contenido en el sobrecalentador.

ATEMPERADORES.

En cada una de las dos líneas que interconectan al sobrecalentador de baja temperatura con el de temperatura intermedia, se localiza un atemperador como el mostrado en la (Fig. IV.6.3).

Estos atemperadores tienen la función de controlar la temperatura del vapor sobrecalentado a la salida del cabezal SH₄. Para cumplir con su función, los atemperadores atomizan agua que proviene de la descarga de las bombas de agua de alimentación, y la introducen al flujo del vapor. Para controlar el flujo de agua de atemperación y de esta manera controlar la temperatura del vapor por sobrecalentado, se dispone de dos válvulas neumáticas de control, una para cada atemperador, las cuales pueden ser accionadas por el control automático de temperatura de vapor sobrecalentado o manualmente desde la sala de control.

La localización de los atemperadores en la sección intermedia del sobrecalentador, garantiza que toda el agua de atemperación se evapore y no haya arrastres hacia la turbina.

VALVULAS DE SEGURIDAD.

Para proteger de sobrepressiones al sobrecalentador, éste cuenta

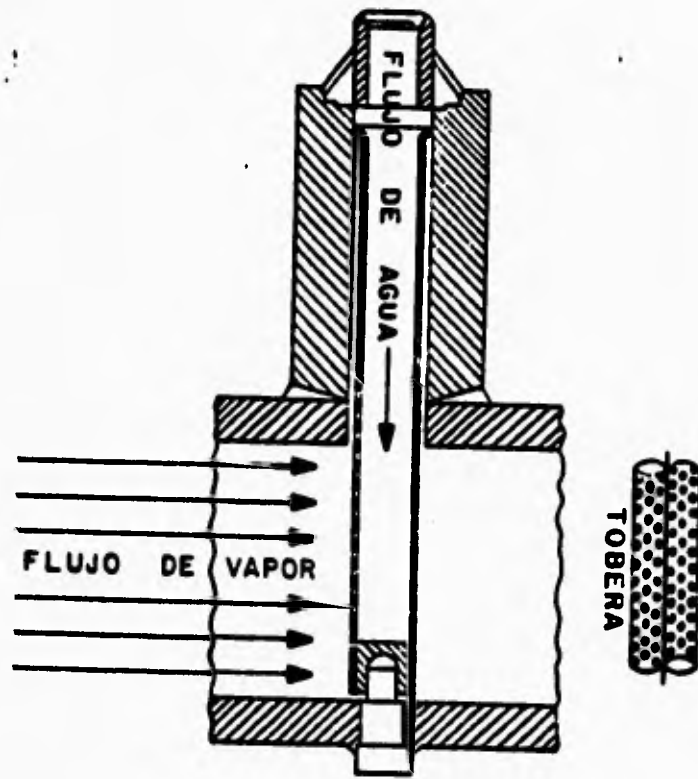


FIG. IV.6.3. ATEMPERADOR

en su cabezal de salida (SH4) con 3 válvulas de seguridad, una de las cuales accionada magnéticamente, por lo que se denomina "electromagnética", y las otras dos accionadas mecánicamente.

La operación de la válvula electromagnética se realiza a través de una solenoide de C.A. con tres posiciones: cerrar, auto y abrir. El operador puede abrir o cerrar esta válvula desde la sala de control. En la posición auto, la válvula abrirá automáticamente cuando la presión del vapor principal sobrepase a los 17.75 MPa aproximadamente.

Esta válvula de acuerdo a su ajuste es la primera en abrir con relación a las dos mecánicas.

Las válvulas mecánicas se encuentran ajustadas de la siguiente manera:

- La válvula norte abrirá cuando la presión del vapor principal sobrepase a 17.95 MPa aproximadamente.
- La válvula sur abrirá cuando la presión del vapor principal sobrepase 18.15 MPa aproximadamente.

SISTEMA DE VAPOR RECALENTADO (Fig. 17.6.4).

Este sistema se encarga de incrementar la temperatura del vapor - recalentado frío que ya trabajó en la turbina de alta presión, hasta - el vapor que tenía antes de entrar a ella.

Los principales componentes de este sistema son:

- Recalentador
- Dren y venteo
- Atemperadores
- Válvulas de seguridad.

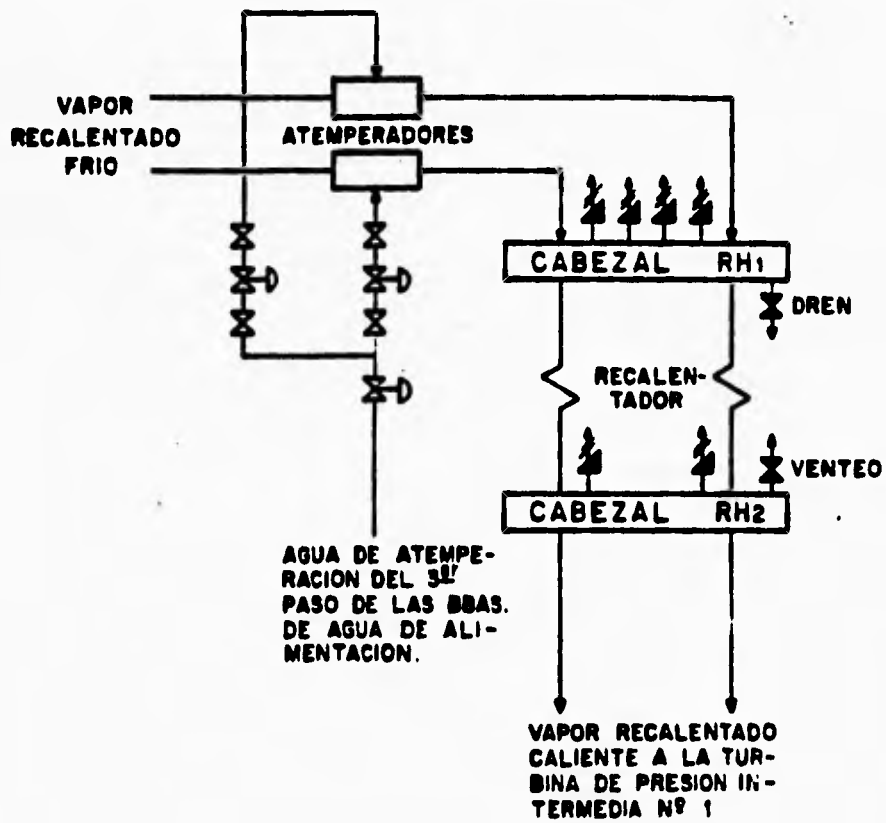
DESCRIPCION DEL EQUIPO PRINCIPAL

RECALENTADOR:

El recalentador del generador de vapor es una serie de tubos - horizontales arreglados en forma de serpentín, que inician en el cabe-

DIAGRAMA SIMPLIFICADO DEL SISTEMA DE VAPOR RECALENTADO.

Fig. IV. 6.4.



RH1 CABEZAL DE ENTRADA AL RECALENTADOR.

RH2 CABEZAL DE SALIDA DEL RECALENTADOR.

zal de entrada RH_1 y terminan en el cabezal de salida RH_2 . Se localiza abajo del sobrecalentador de alta temperatura (Fig. IV.6.1)

El recalentador se cataloga como de radiación, debido a que prácticamente sus elementos se encuentran a la vista del hogar, por lo que reciben una gran cantidad de calor por radiación.

DRENEO Y VENTEO.

El recalentador cuenta con un drenaje en su cabezal de entrada RH_1 y con un venteo en su cabezal de salida RH_2 .

El drenaje RH_1 y el venteo RH_2 se utilizan respectivamente para eliminar el condensado, y para expulsar el aire de los elementos del recalentador.

ATEMPERADORES.

Antes del cabezal de entrada RH_1 en cada una de las dos líneas de vapor recalentado frío, se encuentra instalado un atemperador similar a los descritos en el sistema de vapor sobrecalentado (Fig. IV.6.4). Esta ubicación de los atemperadores tiene la finalidad de garantizar que toda el agua que se evapore y no haya arrastre hacia la turbina.

Los atemperadores del sistema de vapor recalentado se tienen de respaldo únicamente, ya que el generador de vapor dispone de quemadores basculantes para controlar la temperatura del vapor recalentado, en todo el rango de operación bajo condiciones normales. Por lo tanto, los atemperadores de vapor recalentado se usan únicamente cuando la temperatura del vapor recalentado caliente es alta y no se puede controlar con los procedimientos normales de operación.

El agua para la atemperación del vapor recalentado se toma del tercer paso de las bombas de agua de alimentación y para regular el flujo se dispone de dos válvulas de control, una para cada atemperador, las cuales pueden ser accionadas por el control automático de temperatura de vapor recalentado o manualmente desde la sala de con-

trol.

Antes de las válvulas de control, en la línea común de suministro de agua de atemperación, se encuentra una válvula neumática, abierta-cerrada (ON-OFF), que hace la función de válvula de corte. Esta válvula abre totalmente al momento que las estaciones de control, tiene una salida mayor de cero %, y cierra totalmente cuando la señal en las dos estaciones de control son igual a cero, o cuando se dispara el - generador de vapor.

VALVULAS DE SEGURIDAD.

Para proteger de sobrepresiones al recalentador, este cuenta con seis válvulas de seguridad accionadas mecánicamente; cuatro en el cabezal de entrada RH_1 y dos en el cabezal de salida RH_2 . La secuencia de apertura de estas válvulas es que primero abren las que están en el cabezal de salida RH_2 y después las del cabezal de entrada RH_1 , esto es debido a que están calibradas de la siguiente manera:

<u>Cabezal de entrada RH_1</u>	<u>Presión apertura</u>
- Válvula norte	4962.1 KPa
- Válvula norte centro	4893.5 "
- Válvula sur centro	4962.1 "
- Válvula sur	4824.9 "

<u>Cabezal de salida RH_2</u>	
- Válvula norte	5411.0 KPa
- Válvula sur	4658.2 "

DESCRIPCION FUNCIONAL

SOBRECALENTADOR.

El vapor saturado seco, procedente del domo superior, llega al

cabezal de entrada SH1 para ser distribuido a los elementos del sobrecalentador de baja temperatura, donde principalmente por convección, los gases de la combustión le transmiten parte de su calor, dándole el primer incremento de sobrecalentamiento.

El vapor que sale del sobrecalentador de baja temperatura es colectado en el cabezal SH2, para de ahí ser conducido a través de dos tuberías hasta el cabezal de entrada del sobrecalentador de temperatura intermedia SH3. En este trayecto es donde se lleva a cabo la atemperación del vapor sobrecalentado.

Del cabezal SH3, el vapor se distribuye a los elementos del sobrecalentador de temperatura intermedia, y de éste al de alta temperatura para obtener el sobrecalentamiento final requerido por la turbina.

El sobrecalentador de alta temperatura principalmente es de convección y el de temperatura intermedia es de radiación, con el objeto de que la temperatura del vapor se mantenga lo más estable durante los cambios de carga, ya que los sobrecalentadores de radiación, tienen respuestas opuestas a los cambios de carga (Fig. IV.6.5)

Un incremento de carga en un sobrecalentador de radiación, provoca un descenso en la temperatura de vapor como consecuencia del aumento de flujo de vapor y poco incremento en la radiación de la combustión. En un sobrecalentador de convección el incremento de flujo de gases se impone al incremento de flujo de vapor, dando como resultado un incremento a la temperatura de éste.

El vapor sobrecalentado ya con la temperatura requerida por la turbina, es colectado en el cabezal de salida SH4 y enviado a través de dos líneas hacia la turbina de alta presión.

A continuación se enlistan algunas de las causas que originan altas y bajas temperaturas en el vapor sobrecalentado:

Bajas temperaturas.

- Bajo exceso de aire
- Arrastres de agua del domo hacia los elementos del sobrecalentador
- Inducción del agua por los asientos de las válvulas de agua de atemperación.

- Mal ajuste del control de temperatura de vapor sobrecalentado.
- Elementos del sobrecalentador sucios.
- Mayor temperatura que la de diseño del agua de alimentación.

Altas temperaturas

- ✓ Alto exceso de aire
- Mal ajuste del control de temperatura de vapor sobrecalentado.
- Hogar sucio
- Combustión irregular o retrasada.
- Menor temperatura que la de diseño del agua de alimentación

Recomendaciones:

- Cuando el generador de vapor se encuentra encendido y la unidad no está sincronizada, el dren del cabezal SH4 nunca se debe cerrar menos del 10% de su apertura total, para de esta manera garantizar la refrigeración de los elementos del sobrecalentador. Después de que la unidad ha sido sincronizada, este dren se debe cerrar ya que la refrigeración del sobrecalentador se respalda mediante la protección "recalentador no protegido".
- Para proteger de sobrecalentamientos a los elementos del sobrecalentador cuando el flujo de vapor a través de la turbina no es el adecuado para su refrigeración (hasta que la unidad se sincroniza) se debe evitar que los gases a las salidas del hogar rebasen los 538°C
- No es recomendable usar los atemperadores cuando la unidad no ha sido sincronizada por el peligro que implican los arrastes de agua hacia la turbina.

RECALENTADOR.

El vapor recalentado frío al salir de la turbina de alta presión es conducido por dos líneas hasta el cabezal de entrada al recalentador RH1, pasando antes por los atemperadores. El cabezal RH1 distribuye el vapor a todos los elementos del recalentador, donde por radia-

ción principalmente, se incrementa su temperatura. Al salir el vapor del recalentador es colectado en el cabezal de salida RH2 para ser enviado a la turbina a través de dos líneas, ahora como vapor recalentado caliente.

En el recalentador, por ser de radiación, la temperatura de vapor responde en forma inversa a las variaciones de carga, como se aprecia en la (Fig. IV.6.6). Ante un incremento de carga la temperatura del vapor recalentado disminuye. e inversamente , si la carga disminuye la temperatura aumenta.

Algunas causas que originan que la temperatura del vapor recalentado caliente se salga de sus límites normales de operación son:

Bajas temperaturas.

- Hogar sucio
- Alto exceso de aire
- Mayor temperatura de vapor que la de diseño de entrada del recalentador.
- Combustión irregular o retrasada
- Mal ajuste del control de temperatura de vapor recalentado.

Recomendaciones:

- Durante los arranques, el encendido debe hacerse con un régimen bajo de fuegos, de tal manera que la temperatura de los gases a la salida del hogar no exceda de 538°C , mientras la unidad no ha sido sincronizada. La supervisión de esta temperatura se hará con la termosonda. Después de que la unidad ha sido sincronizada al recalentador queda protegido contra "bajo flujo de vapor", a través del disparo del generador de vapor "recalentador" sin protección".

SISTEMA DE VAPOR AUXILIAR

El sistema de vapor auxiliar (Fig. IV.7.1) tiene como función suministrar vapor de ciertas características, presión y temperatura para ser utilizado en los siguientes equipos de la Central Termoeléctrica:

- Calentadores aire vapor
- Eyectores
- Deaerador
- Vapor de atomización
- Generador vapor/vapor
- Planta de tratamiento de agua
- Estación de lavado ácido

El generador vapor/vapor tiene como función principal proporcionar el vapor para calentamiento del aceite combustible y por lo tanto hacerlo más fluido, para así poder transportarlo fácilmente.

DESCRIPCION DEL EQUIPO PRINCIPAL

ESTACION REDUCTORA DE PRESION

Está compuesta de 2 válvulas de control en paralelo, una de flujo máximo y otra de flujo mínimo con sus respectivas válvulas de bloqueo y las válvulas de control son operadas desde la sala de control en forma manual o automáticamente.

La estación reductora tiene por objeto bajar la presión de 16.4 a 2.45 MPa, además cuenta con 2 líneas; una de las cuales tiene una válvula para formar el desvío de la estación reductora y la otra con un orificio de restricción con sus válvulas de bloqueo, para calentamiento del cabezal.

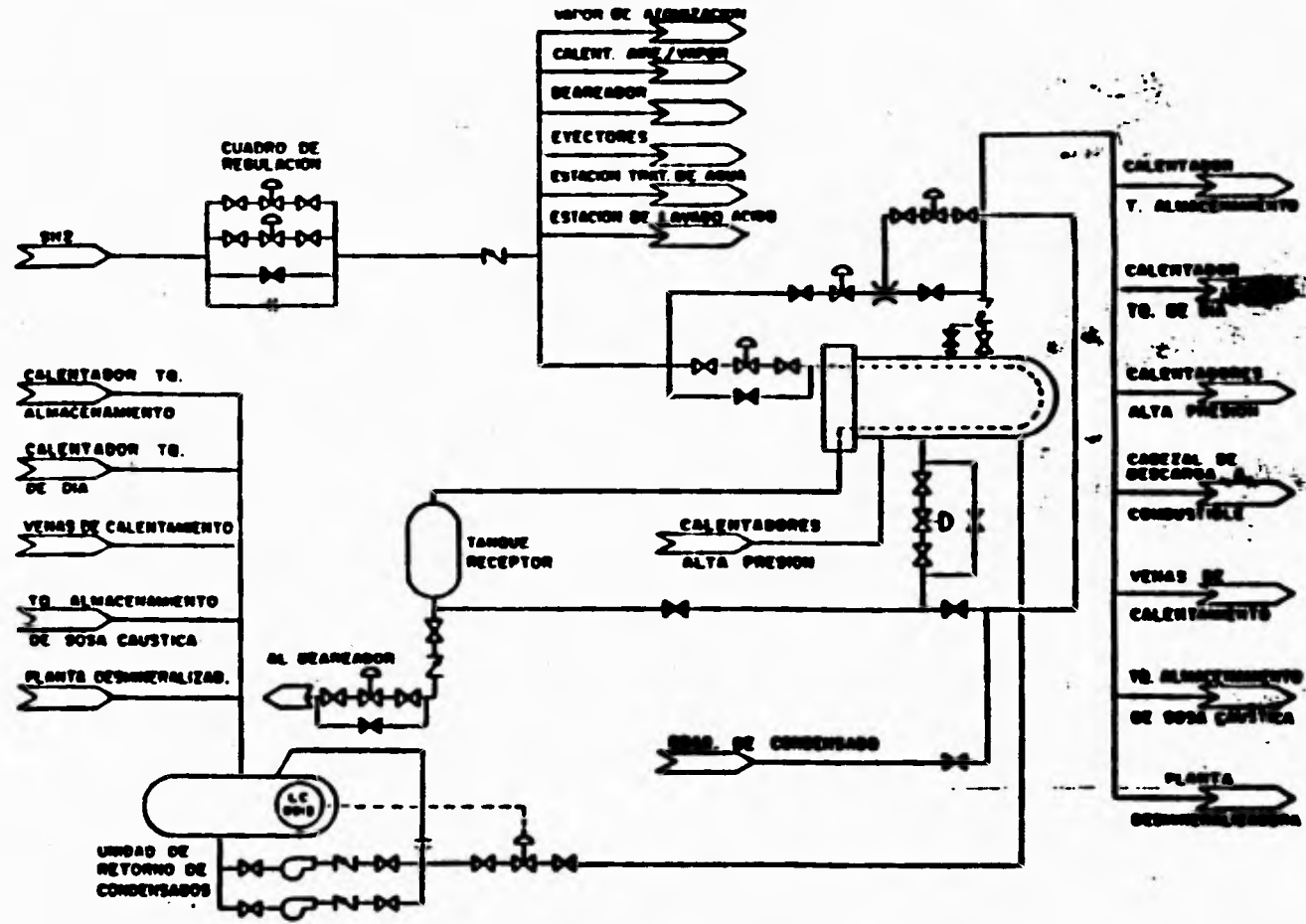


DIAGRAMA SIMPLIFICADO.

CABEZAL DE VAPOR AUXILIAR.

Este cabezal está formado por una línea en la cual se tienen - varias derivaciones que alimentan con vapor a los siguientes servicios:

- Atomización
- Deaerador
- Eyectores (arranque y servicio)
- Estación de tratamiento de agua
- Generador vapor/vapor
- Calentadores aire/vapor

La alimentación a este cabezal viene a través de la línea que se alimenta de la estación reductora: en esta línea hay 2 válvulas de no retorno, indicadores de presión y temperatura locales, transmisores de presión, temperatura y flujo que envían su señal a la consola de control, también se tiene un interruptor de baja presión - cuando acciona, energiza una alarma de baja presión en el tablero de Registradores.

GENERADOR VAPOR/VAPOR.

Es un intercambiador de calor no sujeto a fuego, que consta de un tanque cilíndrico horizontal metálico, en cuyo interior se encuentra un banco de tubos en forma de "U". (Fig. IV.7.2).

Como se puede apreciar en la (Fig. IV.7.2), el vapor auxiliar es alimentado al generador vapor/vapor a través de un cuadro de regulación, el cual responde a la señal de presión del vapor secundario, en esta alimentación cuenta con válvula de seguridad e indicador local de temperatura. A su vez en el lado secundario o de alimentación de vapor a los equipos cuenta con una válvula de seguridad, - indicadores locales de presión, temperatura y nivel así como alarmas por alto y bajo nivel y transmisores de presión y de nivel; tanto las señales de éstos como de las alarmas que van a dar a la sala de control.

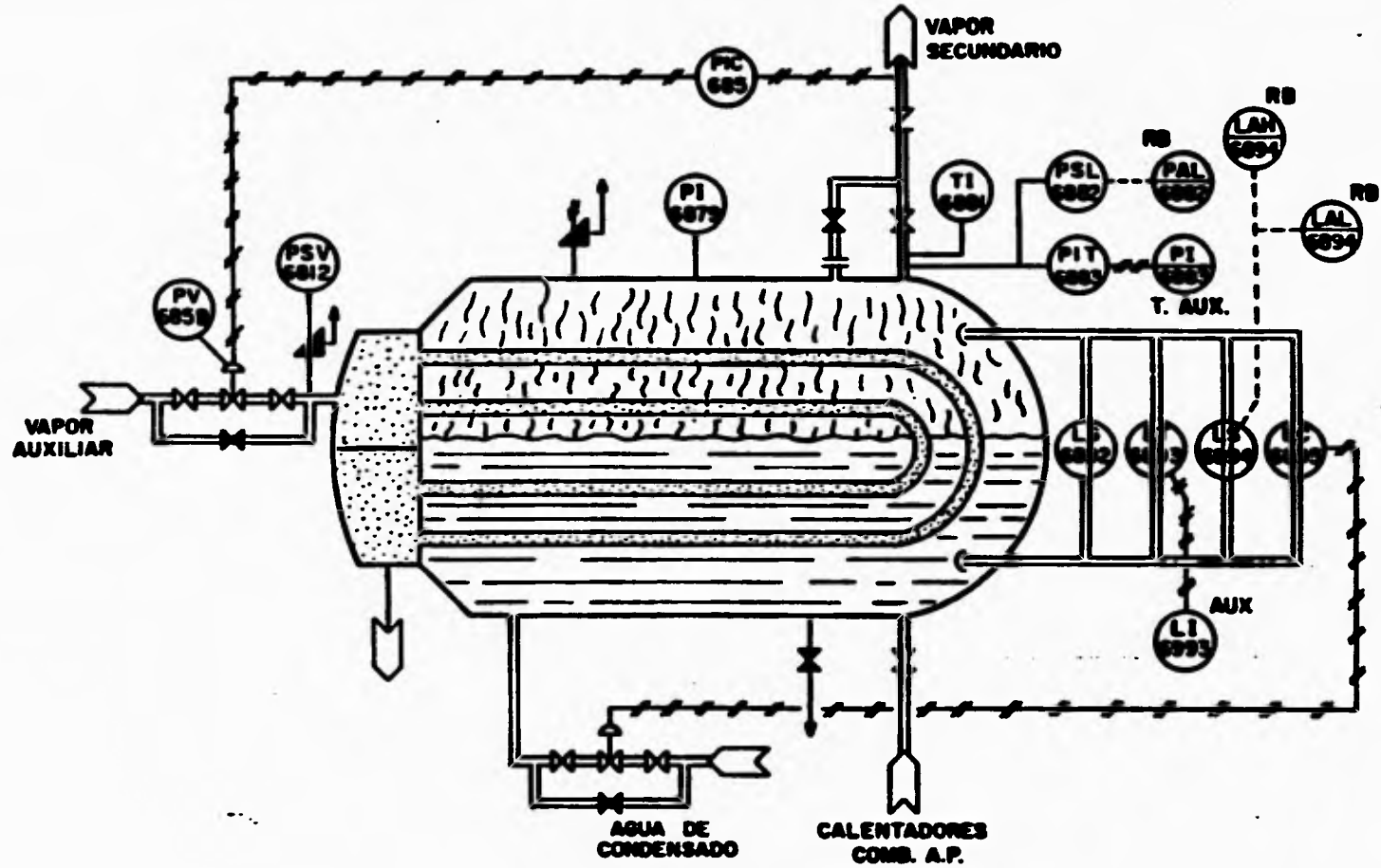


FIG. IV. 7. 2.
GENERADOR VAPOR/VAPOR

Para suministrar agua al generador vapor/vapor se cuenta en el inicio con una línea que proviene del cabezal de descarga de las bombas de condensado la cual va a dar a un cuadro de regulación que tiene por objeto regular el suministro de agua. Antes del cuadro de regulación se une otra línea que proviene del tanque receptor y la cual tiene como función suministrar agua en funcionamiento normal.

La capacidad de evaporación de dicho equipo es de 22 Kg/hs. a una presión de 1.05 MPa y una temperatura de 184°C, utilizando como medio de calentamiento vapor auxiliar de 1.17 MPa y 230°C a través de su cuadro de regulación.

CABEZAL DE VAPOR SECUNDARIO.

Este cabezal es alimentado con vapor a través de una línea que proviene del generador vapor/vapor. A la salida de éste se encuentra una válvula de suministro y en paralelo con ésta hay un orificio con su válvula de bloqueo, el cual sirve en su arranque para el calentamiento tanto de la línea como del cabezal, en donde se encuentran las alimentaciones de los siguientes equipos:

- Calentadores de alta presión de aceite combustible.
- Calentador del tanque de almacenamiento.
- Calentador del tanque de día.
- Sistema de descarga de aceite combustible.
- Estación de vapor de venas de calentamiento.
- Planta de agua desmineralizada.
- Tanque de almacenamiento de cáustica.

TANQUE RECEPTOR DE CONDENSADO.

Es un tanque cilíndrico vertical metálico, que tiene por objeto recuperar el condensado que se formó en la transmisión de calor de vapor a los tubos en el generador vapor/vapor; este condensado se envía posteriormente, para recuperar el nivel del generador vapor/vapor

o al deareador por medio de válvulas de control accionadas por controladores de nivel.

Este tanque está provisto de control e indicador de nivel, drenaje, venteo, y alarmas por alto y bajo nivel.

UNIDAD DE RETORNO DE CONDENSADO.

Esta unidad está formada por un tanque cilíndrico horizontal metálico y dos bombas centrífugas, con una capacidad de 56.7 Lts/min. c/u. diseñadas para el 100% de carga. El objetivo de esta unidad es recuperar el condensado del vapor de calentamiento en los siguientes equipos:

- Calentador del tanque de día.
- Calentador del tanque de almacenamiento.
- Venas de calentamiento.
- Tanque de almacenamiento de sosa cáustica.
- Planta de agua desmineralizada.

El tanque receptor contiene las conexiones necesarias para el control de nivel y automatismo de las bombas; su capacidad es de 719.5 Lts. De este tanque el condensado recuperado se envía al generador de vapor/vapor.

ESTACION DE VAPOR PARA VENAS DE CALENTAMIENTO.

Consiste en una estación de control, con su válvula autocontrolada, válvulas de bloqueo y desvío.

El objetivo de esta estación es suministrar vapor a una presión de 650 KPa, por medio de líneas de diámetro pequeño a las tuberías de combustóleo, con el fin de que el combustible que circula en su interior no se enfríe.

Las venas están dispuestas en forma paralela o en espiral entre la superficie de la tubería y el material aislante. A determinado tramo tienen una trampa de vapor con sus válvulas de bloqueo y desvío, con el objeto de drenar el condensado enviándolo hacia la unidad

o al deareador por medio de válvulas de control accionadas por controladores de nivel.

Este tanque está provisto de control e indicador de nivel, drenaje, venteo, y alarmas por alto y bajo nivel.

UNIDAD DE RETORNO DE CONDENSADO.

Esta unidad está formada por un tanque cilíndrico horizontal metálico y dos bombas centrífugas, con una capacidad de 56.7 Lts/min. c/u. diseñadas para el 100% de carga. El objetivo de esta unidad es recuperar el condensado del vapor de calentamiento en los siguientes equipos:

- Calentador del tanque de día.
- Calentador del tanque de almacenamiento.
- Venas de calentamiento.
- Tanque de almacenamiento de sosa cáustica.
- Planta de agua desmineralizada.

El tanque receptor contiene las conexiones necesarias para el control de nivel y automatismo de las bombas; su capacidad es de 719.5 Lts. De este tanque el condensado recuperado se envía al generador de vapor/vapor.

ESTACION DE VAPOR PARA VENAS DE CALENTAMIENTO.

Consiste en una estación de control, con su válvula autocontrolada, válvulas de bloqueo y desvío.

El objetivo de esta estación es suministrar vapor a una presión de 650 KPa, por medio de líneas de diámetro pequeño a las tuberías de combustóleo, con el fin de que el combustible que circula en su interior no se enfríe.

Las venas están dispuestas en forma paralela o en espiral entre la superficie de la tubería y el material aislante. A determinado tramo tienen una trampa de vapor con sus válvulas de bloqueo y desvío, con el objeto de drenar el condensado enviándolo hacia la unidad

de retorno de condensado, para la recuperación de éste.

DESCRIPCION FUNCIONAL.

El vapor auxiliar se toma del cabezal de salida del sobrecalentador primario (SH_2), por medio de 2 líneas que posteriormente se une a una, es conducido a una estación reductora, donde la presión se baja de 16.4 a 2.45 MPa. Con esta presión el vapor va a dar al cabezal de vapor auxiliar en donde se distribuye a diferentes equipos entre los cuales está el generador vapor/vapor.

Antes de llegar el vapor al generador vapor/vapor, pasa por una estación reductora constituida por una válvula de control con sus bloqueos y su desvío. Aquí se reducen las características del vapor 2.45 MPa y 340°C a 1.17 MPa y 230°C . Después de la estación de control se cuenta con una válvula de seguridad, la cual lo protege contra sobrepresiones. De aquí el vapor es introducido al interior del generador vapor/vapor para que ceda su calor y vaporice el agua que se encuentra alrededor de los tubos.

El vapor primario que ya cedió su calor en el generador vapor/vapor, pasa como condensado al tanque colector de condensado y a la salida de éste una parte sirve para reponer el nivel del mismo generador y el excedente va a dar al deareador. En caso de falla del generador v/v cuenta con un desvío en el cual se encuentra una válvula de control, para tener un suministro de vapor al cabezal de vapor secundario. Este vapor es necesario atemperarlo y se hace con condensado de la descarga de la bomba de condensado por medio de una válvula, la cual responde a una señal de temperatura de vapor que proviene de la salida del atemperador.

El vapor producido en el generador v/v es conducido al cabezal de vapor secundario que es el encargado de distribuirlo a todos los equipos de calentamiento, recuperándose posteriormente de la siguiente manera:

El condensado de los calentadores de alta presión va directamente al generador vapor/vapor, el resto va a la unidad de retorno del condensados, y de ahí por medio de bombeo y el accionamiento de una válvula controlada de nivel de esta unidad, se regresa al lado secundario del generador vapor/vapor.

El proceso de combustión ocupa un lugar importante dentro de la problemática de disponibilidad y eficiencia de las centrales -- termoeléctricas. De él se derivan buena parte de los problemas -- de ensuciamiento y deterioro de los generadores de vapor, constituyendo una de las causas más importantes de indisponibilidad, particularmente agravadas por las características del combustible utilizado.

Se han realizado durante los últimos años, múltiples estudios y experiencias en áreas tales como análisis y determinación de las propiedades físicas, químicas y térmicas de aceites residuales de petróleo; atomizadores de combustible; aerodinámica de quemadores; combustión de aceites pesados y deterioro de los componentes metálicos de las centrales termoeléctricas, que han ayudado a un mejor conocimiento y control del proceso de combustión.

COMBUSTIBLES.

Combustible es toda substancia que combinado con el oxígeno del aire, produce luz, calor, y desprendimiento de gases y es obtenido de la naturaleza en numerosas formas físicas.

Existen tres tipos de combustibles los cuales son:

1. Combustibles sólidos.- Carbón, madera, hulla, bagazo.
2. Combustibles líquidos.- Aceites combustibles, gasolinas, alcohol.
3. Combustibles gaseosos.- Gas natural, gas de alto horno.

Los combustibles contienen tres elementos químicos de significancia: el carbono, el hidrógeno y el azufre. El azufre normalmente es de menor significancia como fuente de calor, pero es el de mayor importancia en los problemas de corrosión y contaminación.

Algunas características de los combustibles son: contenido de humedad, densidad, viscosidad, poder calorífico, punto de inflamación, punto de combustión, contenido de azufre y cenizas.

La más importante de estas características es el poder calorífico, que consiste en la cantidad de energía calorífica que es capaz de generar un combustible al ser quemado, midiéndose en Kcal/kg., BTU/lb, o Joule/kg.

Combustibles sólidos.

El carbón es el combustible sólido más utilizado, el cual es un combustible natural que se extrae del seno de la tierra y que se ha producido por descomposición de materias vegetales a altas temperaturas y presiones en el curso de los siglos.

Generalmente se ha considerado que los carbones del Norte de México se encuentran en el rango de los carbones bituminosos, aún cuando también existen carbones sub-bituminosos. Los carbones sub-bituminosos tienen un alto contenido de cenizas, es de apariencia laminar brillante pero se vuelve opaco cuando se pone al sol, su análisis aproximado es de:

Humedad	12%
Materia volátil	40%
Carbón fijo	40%
Cenizas	8%

El carbón bituminoso o hulla no se desintegra con el tiempo y es la base de carbón más empleada, tiene mayor poder calorífico que el sub-bituminoso y su análisis aproximado es de:

Humedad	4%
Materia volátil	29%
Carbón fijo	60%
Cenizas	7%

Tanto el carbón bituminoso como el sub-bituminoso son aceptables desde el punto de vista de poder calorífico, para utilizarlos

como combustibles en la generación de energía eléctrica.

Las cenizas son sustancias minerales no combustibles que se funden convirtiéndose en escorias, cuando en el hogar se alcanzan temperaturas suficientemente elevadas, parte de las escorias caen en el cenicero, pero parte se enfría con el aire que se inyecta para la combustión; quedando adheridas a las paredes laterales del horno y al emparrillado del hogar.

El alto porcentaje de cenizas es factor determinante en la decisión que se toma para utilizar el carbón como combustible. Los carbones de tipo normal contienen entre el 5 y el 10% de cenizas, los de buena calidad hasta un máximo de 5% y los de baja calidad más de 16%.

La presencia de azufre en los carbones es perjudicial por los componentes que se forman durante la combustión. Cuando se mezclan con la humedad, forman ácidos que corroen las partes metálicas de las calderas, los economizadores y los precalentadores de aire. El contenido de azufre en los carbones comerciales varía entre el 0.2 y el 2.5%.

Los carbones contienen la humedad propia, solamente en el momento de ser extraídos de las minas. La humedad adicional proviene de la condensación atmosférica de las lluvias, del lavado y del tratamiento al que son sometidos. La humedad tiene valores comprendidos entre el 2 y el 15%.

Durante el almacenamiento del carbón puede presentarse una combustión espontánea y sucede cuando el carbón es amontonado y expuesto a la acción atmosférica, sufriendo una oxidación lenta que disminuye su poder calorífico y calidad, como la oxidación se desarrolla con desprendimiento de calor, este puede concentrarse en un área pequeña, elevando la temperatura lo suficiente para que se inicie la combustión del carbón. El espesor de amontonamiento determina y favorece la combustión espontánea y para cada tipo de carbón se determina el espesor máximo de seguridad.

Combustibles Gaseosos.

En las centrales generadoras de energía eléctrica, sólo se utiliza como combustible por su bajo costo, el gas natural que se obtiene en el mismo lugar de donde se extrae el petróleo, resultando antieconómicos los gases manufacturados.

El gas natural es el combustible que nos proporciona mayores ventajas, tanto por la simplicidad de su manejo como por una mayor eficiencia de operación del generador de vapor. La combustión completa se puede efectuar más fácilmente con menor exceso de aire; al estar libre de cenizas, la combustión es prácticamente sin humo y no existe acumulación de escoria ni contaminación del ambiente. Sin embargo se debe tener una mayor consideración de seguridad en el diseño de sus sistemas, que más tarde se mezcla fácilmente con el aire y el peligro potencial de una explosión es más grande que con otros combustibles.

Combustibles líquidos.

El petróleo es un excelente combustible para generar calor y fuerza siendo el más popular de los combustibles líquidos y el de mayor utilización en México.

El residuo que se obtiene al refinar el petróleo, es un líquido negro viscoso y sin sólidos denominado combustible pasado y es el que se emplea para quemarse en los generadores de vapor.

Existe amplia variedad de petróleos con características físicas y químicas diferentes, lo cual da lugar a modificar sus condiciones de quemado. Las características más importantes del petróleo son las siguientes:

Gravedad específica.- Es la proporción de los pesos de un volumen dado de agua y petróleo, con ambas sustancias a una temperatura de 20° C.

Punto de Flama.- Es la temperatura más baja en la cual un petróleo producirá vapores encendibles o explosivos.

Es importante para determinar los requisitos de almacenaje y manejo del petróleo.

Calor específico medio.- Es la cantidad de calor requerido para elevar la temperatura de un kilogramo de petróleo en un grado centígrado.

Viscosidad.- La viscosidad de un petróleo es la medida de su resistencia al movimiento interno o flujo. La viscosidad es importante debido a su efecto en el grado de atomización obtenido por los quemadores de petróleo. Generalmente los petróleos pesados tienen viscosidades más altas que los ligeros.

La viscosidad del petróleo combustible disminuye rápidamente con el aumento de temperatura. Un precalentamiento relativamente moderado hace posible el uso de petróleos que son altamente viscosos a la temperatura atmosférica.

Contenido de azufre y cenizas.- El azufre en el aceite combustible puede causar corrosiones muy fuertes en el generador de vapor porque se combina con la humedad existente y forma ácido sulfúrico que corroe los tubos y los ductos.

Contenido de sedimentos.- Se mide en peso o porcentaje de volumen y puede causar considerable daño a las válvulas y bombas de las líneas de combustible

PODER CALORIFICO DE ALGUNOS COMBUSTIBLES

Carbón de Coahuila	27 256 068 J/kg	(6520 Kcal/kg)
Petróleo tipo ferrocarril	42 956 568 J/kg	(10260 Kcal/kg)
Aceite diesel	45 343 044 J/kg	(10830 Kcal/kg)
Combustible ligero	43 249 044 J/kg	(10330 Kcal/kg)
Gas natural	52 335 000 J/kg	(12500 Kcal/kg)

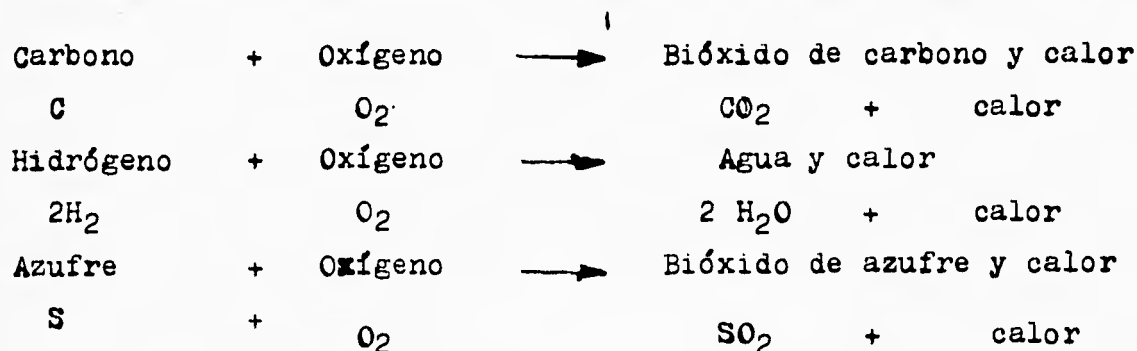
COMBUSTION.

La combustión es una forma especial de oxidación en la cual las partículas de combustible y el oxígeno se combinan rápidamente y producen calor.

El objetivo de una buena combustión es liberar todo este calor minimizando las pérdidas por combustión imperfecta y aire innecesario; es decir, que mientras más completa y limpia es la combustión, mayor es el calor producido y aprovechado y menor la contaminación del aire.

Ecuaciones de la Combustión.

La mayoría de los combustibles contienen uno o más de los siguientes elementos: Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno, Azufre y materias inertes como la ceniza. De éstos, tres tienen la facilidad de reaccionar con el oxígeno de la siguiente manera:



Ya que todos los elementos tienen pesos atómicos y molecular definidos, es posible calcular la relación de pesos en cada una de estas ecuaciones.

Elemento	Símbolo	Peso Atómico	Peso Molecular
Carbono	C	12	12
Hidrógeno	H ₂	1	2
Oxígeno	O ₂	16	32
Azufre	S	32	32
Nitrógeno	N ₂	14	28

Los gases siempre aparecen en grupos de dos átomos en el estado libre (de aquí las variaciones de la tabla anterior).

Hay varios métodos para calcular la cantidad de aire teóricamente necesario para la combustión. Aquí usaremos el método de pesos. Suponga que se desea calcular el aire teórico requerido para

quemar un carbón combustible con el siguiente análisis

Elemento	Peso (%)
C	83.39
H ₂	4.56
S	0.64
O ₂	5.05
N ₂	1.03
Cenizas	5.33

Podemos hacer nuestros cálculos en forma de tabla. El oxígeno contenido en el combustible disminuye la cantidad de oxígeno requerido.

Elemento	Peso	Relación O ₂ Elemento	Oxígeno Requerido
C	0.8333	X 2.67	= 2.2237
H ₂	0.0456	X 8.00	= 0.3648
O ₂	0.505	Disminuye O ₂ requerido	= - 0.0505
N ₂	0.0103	Inerte, no reacciona	= -----
S	0.0064	X 1.00	= 0.0064
Cenizas	0.0533	Inerte, no reacciona	= -----
Total			= <u>2.5444</u> Partes O ₂
			<u>Parte de Carbón</u> (en peso)

En otras palabras, para quemar completa y correctamente 1 kg. de carbón combustible, se requieren 2.5444 kg. de oxígeno.

Productos de Combustión.

Hemos visto que varios productos gaseosos se forman durante la combustión. Con frecuencia es necesario determinar el volumen y -

otras propiedades de éstos. Si sabemos que un gramo mol ocupa 22.4 --- litros a una presión de 1.033 kg/cm² y 0°C., podemos hallar el volu-- men ocupado por 1 gr. dividiendo 22.4 litros por su peso molecular --- (Ley de Dalton).

Necesitamos también conocer que estos gases se expanden y contraen de acuerdo a la Ley General de los Gases, que en forma algebraica se - expresa de la siguiente manera:

<u>Presión X Volumen</u>	Constante	<u>PV</u>
Temperatura Absoluta		T

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_n V_n}{T_n} \quad C$$

Exceso de Aire.

Prácticamente nunca es posible tener combustión completa sin una - cantidad mayor del aire teóricamente calculado. Un término, % de exce- so de aire, a menudo se usa y se define como sigue:

$$\% \text{ Exceso de Aire} = \frac{\text{Aire actual usado} - \text{aire teórico}}{\text{Aire teórico}} \times 100$$

Análisis de Gases.

En un análisis de los gases de combustión se determina principal- mente el CO₂ y también el CO y O₂ con lo cual se puede establecer si - una comoustión es completa y cual es el exceso de aire empleado.

Cuando la combustión es completa no debe haber CO en los gases.

Cuando el exceso de aire aumenta, el % de CO₂ queda más diluído - en los gases de combustión por la presencia de mayor cantidad de aire.

El método más confiable de la medición del porcentaje de CO₂

en el flujo de los gases es un analizador de gases u Orsat.

El aparato de Orsat consta de tres pipetas y una bureta graduada. Las pipetas cuando están llenas de cierta solución, absorberán un volumen de bioxido de carbono (CO_2), oxígeno (O_2) y monóxido de carbono (CO).

Un volumen conocido del gas que va a ser analizado, es llevado a la bureta graduada, luego la muestra es pasada sucesivamente a las pipetas de CO_2 , O_2 y CO . Cada una de estas pipetas contiene un reactivo químico, el cual absorbe el respectivo gas, constituyendo de la muestra. Las diferencias en volumen antes y después de que ha sido absorbido cada gas individual, están de acuerdo con el porcentaje de la cantidad del gas específico contenido en la muestra.

Los reactivos químicos presentes en las pipetas son:

Potasa cáustica para absorber el CO_2 , el pirofosfato de sodio para el O_2 y el cloruro cuproso para el CO .

Determinación del Exceso de Aire mediante el Análisis de Orsat.

Los cálculos de combustión pueden simplificarse con el uso del mol. Una mol de una substancia, es la cantidad de masa de una de sus moléculas y puede ser dado en gramo mol, o kilogramo mol. Por ejemplo, el carbono tiene un peso molecular de 12. Por lo tanto una mol de carbono pesa 12 gramos. Para los gases, el volumen ocupado por una mol se denomina volumen molal, y es una constante de 22.4 litros para los gases ideales a condiciones normales de presión y temperatura.

En un gas, las relaciones en moles, volúmenes y presiones son numéricamente iguales. Por lo tanto, el aire con una composición de 21% de O_2 y 79% de N_2 en volumen, es igual a 21 moles de O_2 y 79 moles de N_2 en 100 moles de aire.

En la combustión del combustible tenemos que por cada mol de C, H_2 y S quemado, se forma una mol de CO_2 , H_2O y SO_2 respectivamente.

Los análisis de los gases de combustión están hechos sobre la base de volúmenes de gases secos y nos indican las moles de estos

gases por cada 100 moles de gases totales que son el CO_2 , CO , O_2 y la diferencia nos dá el N_2 .

Por ejemplo: si tenemos en un análisis de gases 11.6% de CO_2 , se puede calcular el exceso de aire conociendo previamente el análisis del combustible del cual se dan los siguientes valores:

$$\begin{aligned} \text{C} &= 83.05 \\ \text{O}_2 &= 0.0 \\ \text{H}_2 &= 12.40 \\ \text{S} &= 3.30 \\ \text{N}_2 &= 1.25 \end{aligned}$$

De acuerdo con los pesos moleculares de cada constituyente se obtienen las siguientes moles:

$$\begin{aligned} \text{C} &= \frac{83.05}{12} = 6.92 \\ \text{H}_2 &= \frac{12.40}{2} = 6.20 \\ \text{S} &= \frac{3.30}{32} = 0.103 \\ \text{N}_2 &= \frac{1.25}{28} = 0.0446 \end{aligned}$$

Los moles de gases de combustión serán:

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 &= 6.92 \\ \text{H}_2\text{O} &= 6.2 \\ \text{SO}_2 &= 0.103 \\ \text{N}_2 &= 0.0446 + \text{N}_2 \text{ del aire} \end{aligned}$$

Las moles de oxígeno del aire requeridas, de acuerdo con las reacciones de combustión serán:

$$\begin{aligned} \text{Para el C} &= 6.92 \times 1 = 6.92 \\ \text{Para el H}_2 &= 6.20 \times 0.5 = 3.10 \\ \text{Para el S} &= 0.103 \times 1 = 0.103 \\ \hline \text{TOTAL:} &= 10.123 \end{aligned}$$

Como el combustible no tiene oxígeno, no habrá que restar el número de moles en el combustible del número de moles de oxígeno requerido.

Las moles del aire (A) son : $A = \frac{10.123}{0.21} = 48.2$

Las moles de gases secos (G) son:

CO ₂	=	6.92
SO ₂	=	0.103
N ₂	=	0.045
N ₂ del aire	=	38.1
Total (G)	=	<u>45.168</u>

El porcentaje de CO₂ en los gases secos (P) será:

$$P = \frac{6.92 \times 100}{45.168} = 15.32\%$$

Cuando se aumenta el aire (exceso de aire), las moles de CO₂, permanecen constantes con respecto al combustible, pero disminuye el porcentaje (P) de CO₂ al diluirse con el aire.

Supongamos un coeficiente de exceso de aire (E) igual a 1.3 (30% de exceso). Las moles de CO₂ seguirán siendo 6.92

Las moles de gases secos (G) serán:

$$G_1 = 45.168 + (48.2 \times 0.3) = 45.168 + 14.46 = 59.63$$

El porcentaje (P) de CO₂ será:

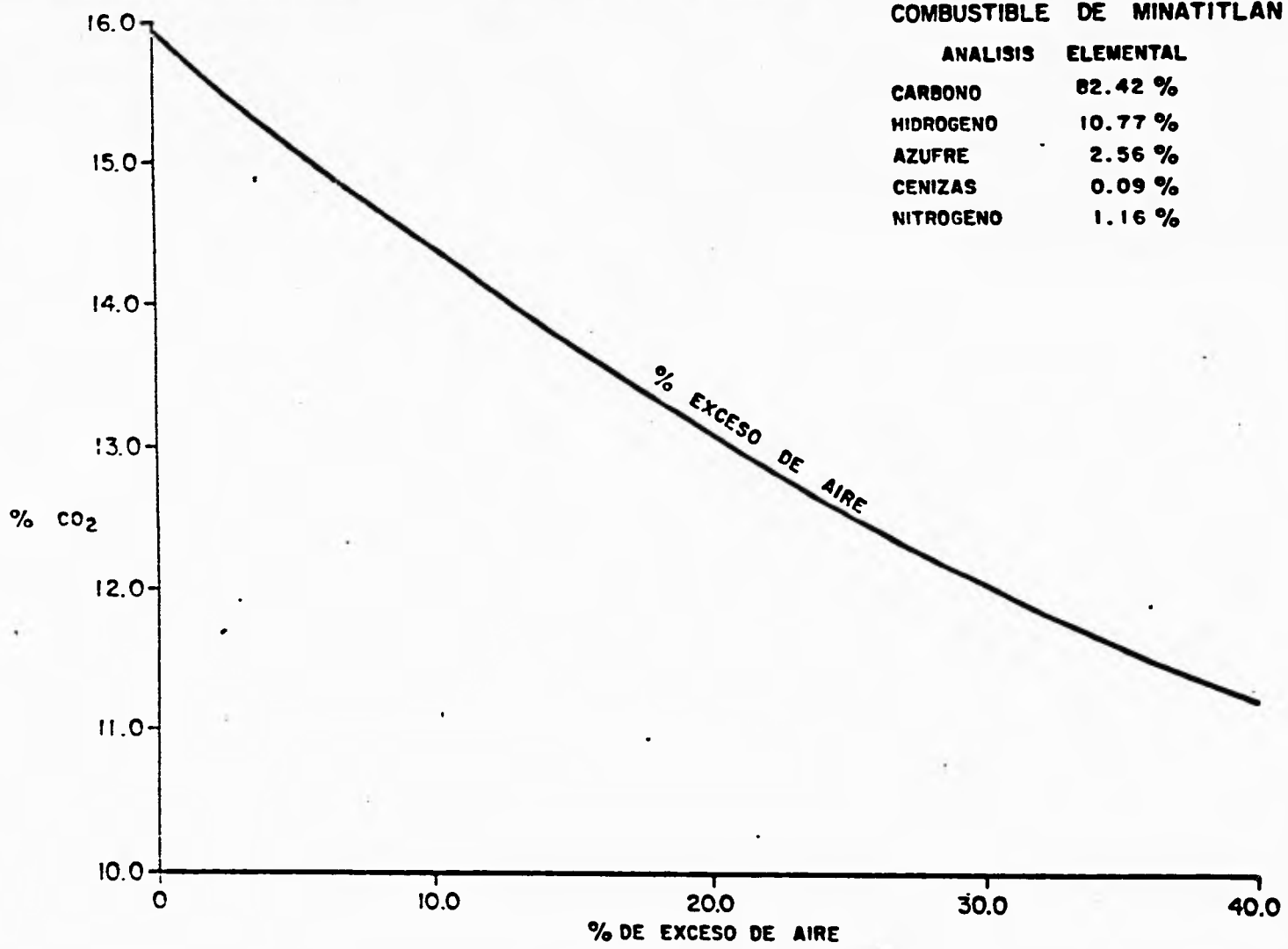
$$P = \frac{6.92 \times 100}{59.63} = 11.6\%$$

Lo que demuestra que el % de CO₂ disminuye cuando aumenta el exceso de aire, debido a que el CO₂ se diluye con los gases de combustión por la presencia de exceso de aire.

Se puede trazar una gráfica que tenga por abscisas los coeficientes E dados y por ordenadas los porcentajes de CO₂ calculados como en el ejemplo anterior, conociendo previamente el análisis elemental del combustible. Ver figuras (V.1.1, V.1.2).

Con ayuda de esta gráfica se nota que el coeficiente de exceso de aire que corresponde al 11.6% obtenido del análisis de los gases de

307

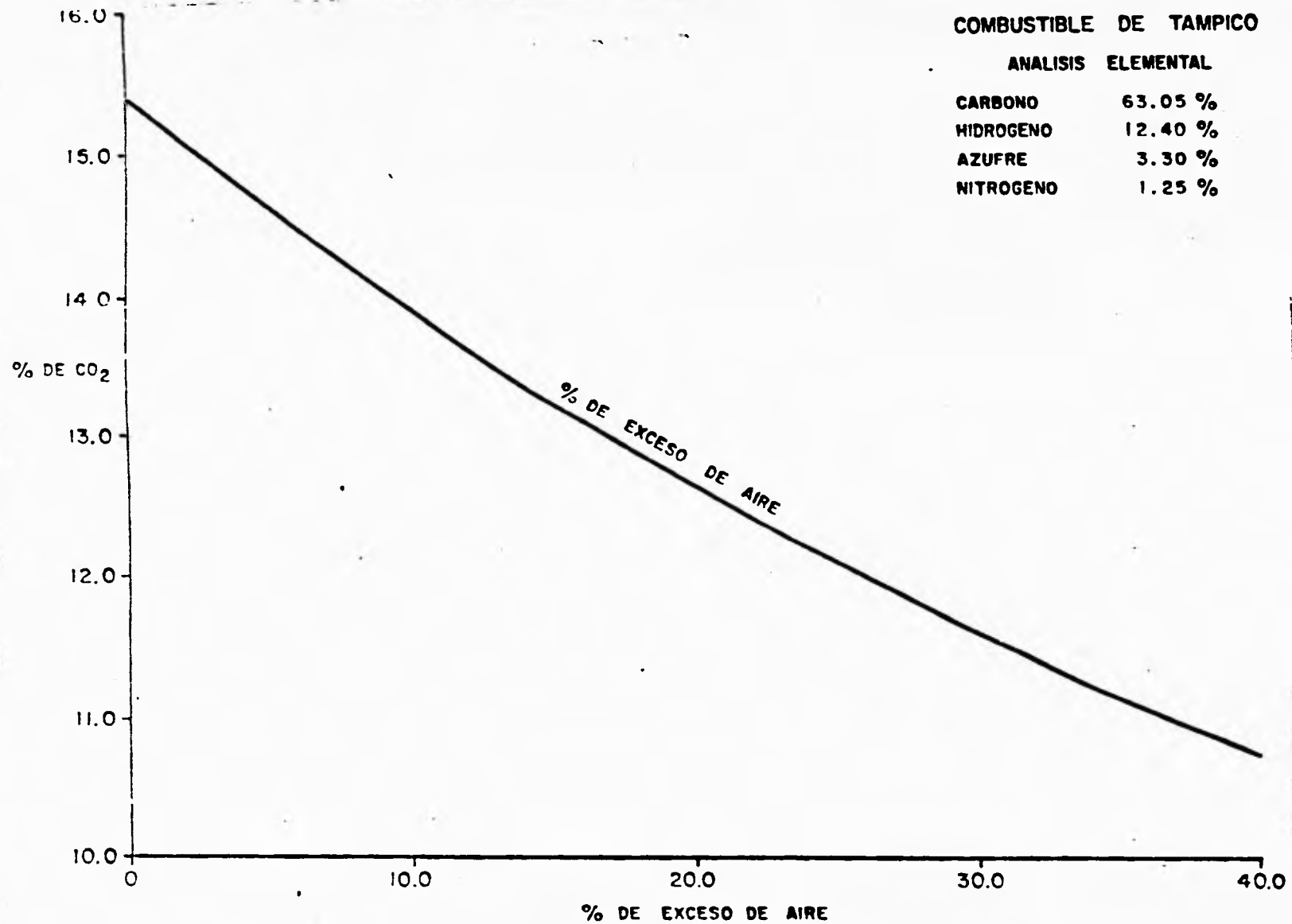


COMBUSTIBLE DE MINATITLAN

ANALISIS	ELEMENTAL
CARBONO	82.42 %
HIDROGENO	10.77 %
AZUFRE	2.56 %
CENIZAS	0.09 %
NITROGENO	1.16 %

GRAFICA PARA DETERMINAR EL EXCESO DE AIRE EN FUNCION DEL % DE CO₂ DEL ANALISIS DE GASES DE COMBUSTION
. Fig. V.J.1

23/68



GRAFICA PARA DETERMINAR EL EXCESO DE AIRE EN FUNCION DEL % DE CO₂ DEL ANALISIS DE GASES DE COMBUSTION

Fig.V.1.2

combustión es :

$$E = 1.30 \text{ (30\% de exceso de aire).}$$

También se puede deducir la siguiente fórmula general para calcular el exceso de aire en función del % de CO_2 en los gases de combustión deduciéndose del ejemplo anterior.

Teniendo que:

E = Coeficiente de exceso de aire buscado

P = % de CO_2

C = Moles de CO_2 producidas por unidad de combustible

G = Moles de gases secos producidos por unidad de combustible.

A = Moles de aire químicamente necesario para la combustión por unidades de combustible.

$$\% \text{ CO}_2 = \frac{\text{Moles de } \text{CO}_2 \text{ producidos/ unidad de combustible}}{\text{Moles de gases totales}} \times 100$$

Se tiene:

$$P = \frac{C}{G + (E - 1) A} \times 100$$

$$\frac{P}{100} = \frac{C}{G + (E - 1) A}$$

$$G + (E - 1) A = \frac{100 C}{P}$$

$$(E - 1) A = \frac{100 C}{P} - G$$

$$E - 1 = \frac{100 C}{AP} - \frac{G}{A} = \frac{100 C - GP}{AP}$$

$$E = \frac{100 C - GP}{AP} + 1$$

$$E = \frac{(100 \times 6.92) - (45.168 \times 11.6)}{48.2 \times 11.6} + 1 = \frac{692 - 523.9}{559.12} + 1$$

$$E = 0.30 + 1 = 1.30$$

$$\% \text{ de exceso de aire} = 30$$

La cantidad de O_2 en los gases de combustión es significativa para definir las condiciones del proceso de combustión. Su presencia (exceso de aire) siempre significa que se está introduciendo más aire del necesario. Considerando una combustión completa, los valores bajos de O_2 en los gases reflejan un exceso de aire moderado y pérdidas de calor reducidas.

Una fórmula que se ha usado bastante para calcular el exceso de aire de un análisis de Orsat es :

$$\% \text{ de exceso de aire} = \frac{O_2 - CO_2}{0.264 N_2 - (O_2 - CO/2)}$$

MECANICA DE LA COMBUSTION

Aunque la combustión es enteramente una reacción química, la mayoría de los problemas que comprende son mecánicos. El combustible debe prepararse para quemarlo, debe entrar en contacto con el aire y suficientemente con una cantidad de oxígeno para asegurar que la combustión sea completa. Cada una de las etapas de preparación, mezcla y combustión se ejecutan por medios y dispositivos mecánicos. Ningún combustible puede arder si no es, o se vuelve gas.

Cuando los combustibles son gaseosos no requieren preparación inicial. Estos combustibles solo requieren una adecuada mezcla con oxígeno para mantener la combustión completa.

Los elementos esenciales para los combustibles son el carbono y el hidrógeno. El azufre y algunos elementos arden, pero no son importantes como combustibles. Tanto el hidrógeno como el carbono tienen muy alto valor calorífico. Estos elementos básicos de los combustibles se hallan en muchas combinaciones las que se conocen como hidrocarburos, algunos de los cuales normalmente son gases, otros líquidos y otros sólidos.

La combustión completa del hidrógeno o del carbono requiere una cierta cantidad definida de oxígeno . El análisis químico del combustible indica las cantidades relativas de hidrógeno y carbono que contiene, de modo que también la cantidad de oxígeno que se requiere para la buena combustión. El oxígeno se suministra en forma de aire, el cual contiene una cantidad conocida de oxígeno. Si se suministra la cantidad correcta de aire, entonces se tiene una mezcla "perfecta" . Si se suministra demasiado aire la mezcla es "liviana" y si se suministra poco aire la mezcla es "excesiva". Para todos los combustibles mencionados hay un alcance entre el máximo y el mínimo dentro del cual se considera que la combustión es adecuada. Estos límites son conocidos como los límites de combustión.

EL CALOR REQUERIDO

Aun una perfecta mezcla de combustible y aire no produce buena combustión si no se cuenta con otro factor que es el calor. El calor acelera la reacción química entre el aire y los elementos del combustible . Una vez que el calor es adecuado para mantener la reacción química, ya no se requiere calor del exterior y la combustión es automática. Este punto es conocido como el punto de inflamación. En este punto el calor que produce las reacciones químicas de combustión, ya es mayor que el que pierde en el medio que rodea el fuego.

LO ESENCIAL DE LA MEZCLA

El producir la mezcla adecuada de aire y combustible., así -- como la temperatura correcta, dentro del horno, es lo que produce algunos de los problemas mecánicos mencionados anteriormente .

Supóngase que se introduce la cantidad correcta de gas y aire al hogar, pero no se pone interés en que se mezclen. En algunos puntos del hogar habrá mucho gas y poco aire, y en otros puntos habrá mucho aire y poco gas. Esto hará que en una parte del hogar no pueda haber combustión, y en otra la combustión no es completa. Aun --

con buena mezcla las proporciones relativas de gas y aire varían - de un lado del hogar al otro, y por eso se suministra más aire del - .
técnicamente requerido. El exceso de aire asegura que aunque la -
relación no es exacta, siempre habrá suficiente cantidad de aire pa-
ra producir combustión completa. (Fig. V.1.3).

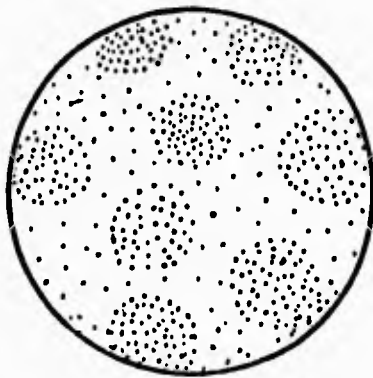
En los hogares en que el gas y el aire cambian rápidamente por efecto de la combustión, el gas sufre cierto fraccionamiento químico. El carbono que estaba en los compuestos químicos queda libre - en forma de partículas las cuales se ponen incandescentes y hacen visible el fuego. Cada partícula está rodeada de una capa micros- cópica de CO y de CO₂ producidos por la reacción del oxígeno en el aire. La corriente de aire limpia dicha capa y deja expuesta la - partícula de carbono de modo que pueda quemarse aun más hasta que - la partícula se consume por completo (Fig. V.1.4)-.

El tiempo requerido.

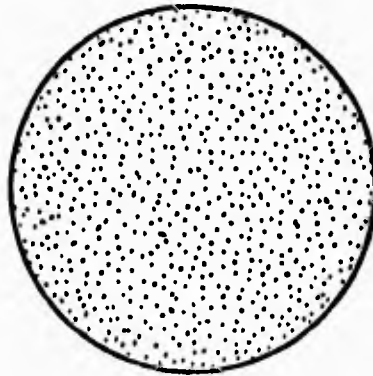
Esto introduce otro importante elemento de combustión, el tiem- po requerido. Esto se requiere en todas las etapas mencionadas: - la mezcla, la primera aplicación de calor, la temperatura de infla- mación y el barrido de las capas de CO y CO₂ todas requieren cierto tiempo para efectuarse. No importa lo ideal de la mezcla original y la temperatura a que esté si el combustible choca contra una su- perficie fría dentro del hogar, la combustión termina y se forma - hollín (Fig. V.1.5).

ATOMIZACION

El tener una combustión completa y el máximo aprovechamiento - de la misma está basado en realizar una mezcla total y homogénea - entre el combustible y el oxígeno requerido por el proceso. En los combustibles líquidos, esta mezcla sólo puede lograrse si las carac- terísticas del fenómeno de atomización de los mismos satisfacen los requerimientos de una serie de reacciones químicas entre el oxígeno

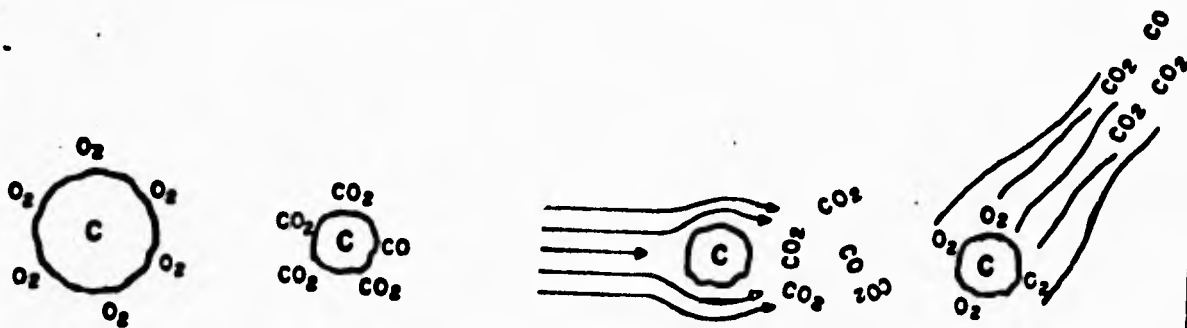


MALA
MEZCLA



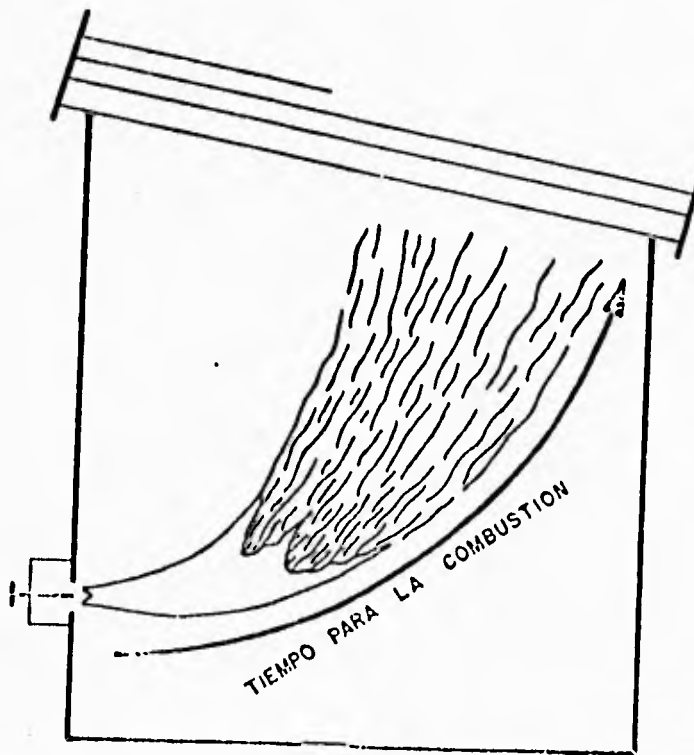
BUENA
MEZCLA

MEZCLA BUENA CONTRA MEZCLA POBRE.
Fig. V. 1.3



EL AIRE LIMPIA LA CAPA DE CO Y CO₂
 PARA QUE CONTINUE QUEMANDOSE EL CAR-
 BONO.

Fig. V. 1. 4



TIEMPO REQUERIDO PARA LA COMBUSTION

Fig. V. 1. 5

y los elementos constituyentes del combustible.

Una atomización que produzca un tamaño excesivo en las gotas dificultará la combustión (oxidación), motivando así un número elevado de partículas inquemadas que presentarán una gran superficie donde podrán efectuarse, con relativa facilidad, reacciones tales como la conversión de SO_2 a SO_3 y el consiguiente deterioro (corrosión) de algunos componentes de la caldera, por la posterior conversión a ácido sulfúrico (H_2SO_4). Para tener una idea de la importancia de la atomización, se ha encontrado que un incremento promedio del 3% del diámetro de las gotas producidas por un atomizador hace que aumenten en un 20% de las partículas noquemadas.

Cuando el líquido atomizado se acerca al frente de la flama, las gotas se empiezan a evaporar debido al calor transmitido desde la flama. Las gotas pequeñas tienen el tiempo suficiente para evaporarse antes de llegar al frente de la flama y el vapor de combustible se mezcla con el aire de combustión, quemándose como una flama premezclada. Las gotas grandes no tienen el tiempo suficiente para evaporarse y se queman individualmente, **noquemadas** una flama de difusión. A esta combustión individual de gotas, varios investigadores atribuyen la formación de hollín, y para reducir la formación de éste, explican que es necesario que la velocidad relativa entre las gotas y el aire exceda una cierta velocidad crítica (velocidad de extinción), que está determinada por el tamaño de las gotas y la composición del aire en combustión.

El objetivo básico de la atomización consiste en aumentar el área superficial del líquido, intensificando la vaporización para obtener una mejor distribución del combustible dentro de la cámara asegurando de esta manera el fácil acceso del oxidante a una gran cantidad de gotas.

El mecanismo de formación de gotas depende de las propiedades físicas del líquido a atomizar y el medio ambiente, así como del tipo de atomizador. Las propiedades físicas que más influyen en la calidad de atomización son la viscosidad y la tensión superficial.

La viscosidad del líquido dificulta la formación de gotas en todas sus etapas, en tanto que la tensión superficial no permite la formación de láminas pero ayuda a la formación de gotas después de que la película se ha roto. El tamaño de las gotas producidas aumenta con la viscosidad del combustible (a mayor viscosidad, gotas más grandes).

Los líquidos atomizados se presentan básicamente en dos formas:

1. Forma plana o de abanico.- En ésta, las gotas están distribuidas a lo largo de una banda estrecha.
2. Forma cónica.-
 - a) Cono hueco.- Las gotas se encuentran en la periferia del cono abandonando su centro, el cual queda prácticamente sin gotas, sobre todo cerca del orificio atomizador. En fichas de orificio pequeño, pero flujos mayores de 40 l/hr, el cono se transforma en cono sólido debido a que las gotas entran al cono por inducción de aire.
 - b) Cono sólido.- En este caso, el volumen total del cono lo llenan las gotas del líquido atomizado, el cual tiene una distribución uniforme.

Atomizadores.- La función de los atomizadores es inyectar el combustible en la cámara de combustión en forma de pequeñas gotas con velocidad y trayectorias tales que propicien un buen mezclado con el aire de combustión.

Un líquido sumamente viscoso debe calentarse para facilitar su transporte y en el caso del combustóleo, para facilitar su atomización. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la temperatura del aceite residual no puede aumentarse indiscriminadamente, puesto que puede sufrir degradaciones térmicas que alteren sus propiedades.

Atomizadores con vapor.- Los atomizadores con vapor son los más -

ampliamente usados. Operan con el principio de producir una emulsión de vapor-combustible la cual, cuando es liberada dentro del hogar atomiza al aceite mediante la rápida expansión del vapor. El vapor de atomización debe estar seco porque la humedad ocasiona pulsaciones que pueden conducir a la pérdida de la combustión.

La presión del vapor y del aceite es mucho más baja que para los atomizadores mecánicos, a la vez, esta presión es dependiente del diseño del atomizador.

El atomizador de vapor funciona más eficientemente sobre un mayor rango de carga que otros tipos. Normalmente atomizan el combustible en forma adecuada por abajo del 20% de la capacidad de régimen y en algunos casos los atomizadores con vapor han sido operados exitosamente al 5% de capacidad. Frecuentemente estos extremos en rango no pueden ser totalmente utilizados porque la temperatura en el lugar de la combustión cae a tal grado que, aún cuando la calidad de atomización sea excelente, no hay suficiente temperatura para efectuar el proceso de combustión adecuadamente. Una ventaja de este atomizador es su consumo de vapor.

Atomizador mecánico.- En los atomizadores mecánicos la propia presión del combustible se utiliza como medio de atomización. Los atomizadores con flujo de retorno son más utilizados que aquellos que tienen partes móviles.

El rango aceptable de operación puede ser tanto como 10 al o tan pequeño como 3 a 1 dependiendo de la máxima presión del aceite utilizado en el sistema, la configuración del hogar, temperatura del aire y velocidad del quemador. En un sistema adecuadamente operado y diseñado, la alta presión del flujo de retorno al atomizador mecánico proporcionará una eficiente combustión comparable a la obtenida con un buen atomizador de vapor.

AERODINAMICA

Diversas características de la combustión, dependen de los aspectos aerodinámicos, por lo que éstos adquieren una gran importan-

cia en el quemado de aceites residuales del petróleo.

Un quemador es un dispositivo que produce una flama. Debe mezclar el combustible y un agente oxidante en proporciones que se encuentran dentro de los límites de flamabilidad para el encendido, así como también para lograr una combustión constante.

La aerodinámica del quemador debe proporcionar una distribución uniforme del aire de combustión y del combustible. Sin embargo, para garantizar en todo momento una mezcla uniforme con los productos de combustión media, es necesario además dotar al aire de una elevada turbulencia que favorezca la difusión. Dicha turbulencia debe ser tal que asegure una flama que se caracterice por una forma bien definida y por una elevada estabilidad. Sin estabilidad en la flama se puede presentar la extinción de la combustión o dar como resultado varias pulsaciones del hogar que dañarán los equipos; en los casos extremos, se pueden producir explosiones con efectos desastrosos. (Fig. V.1.6).

Para ello, los patrones de flujo del aire de combustión, a la salida de los quemadores, deben combinarse adecuadamente con los del líquido atomizado (Figs. V.1.7, V.1.8). De no ser así, podrían establecer zonas con diferente concentración de oxígeno, algunas muy ricas y otras pobres.

FLAMAS

La importancia de la flama radica en que de su forma, tamaño, y propiedades radiantes, dependen los patrones de flujo de calor en el hogar de los generadores de vapor.

PRODUCTOS DE COMBUSTION
FRIOS PROVENIENTES DE
AERODINAMICA DEFECTUOSA

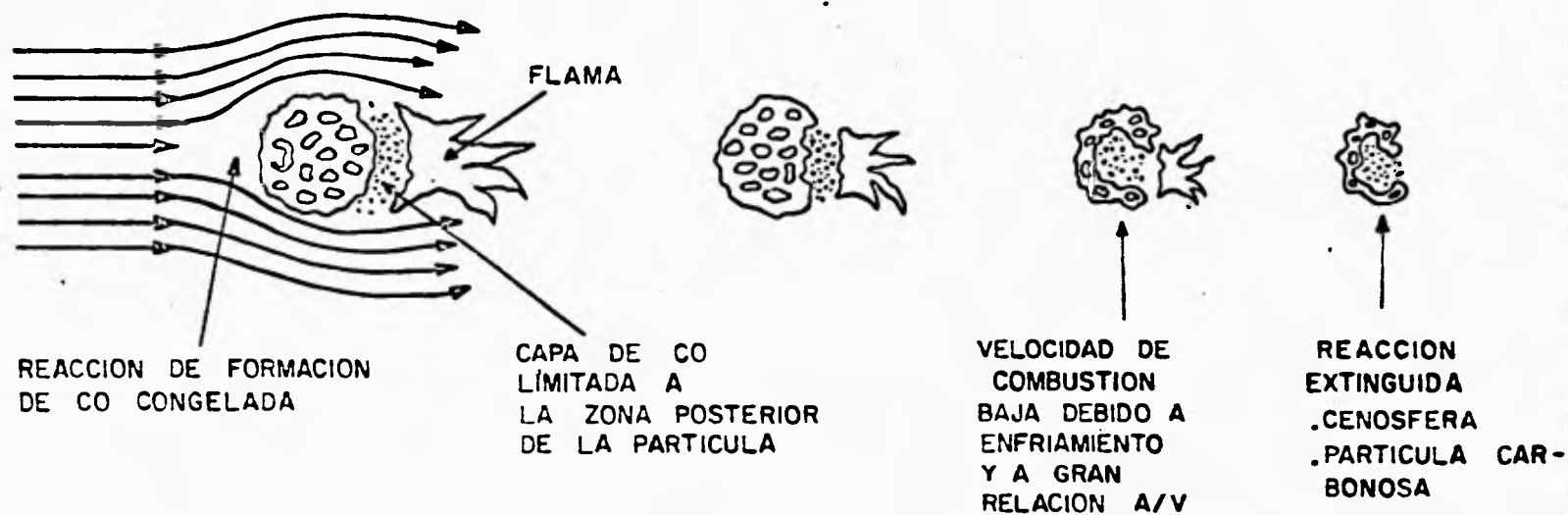


Fig. V. 1. 6 COMBUSTION DEFICIENTE DEL RESIDUO CARBONOSO

PRODUCTOS DE
COMBUSTION CALIEN-
TES PROVENIENTES
DE OTRAS GOTAS QUE
SE ESTAN QUEMANDO

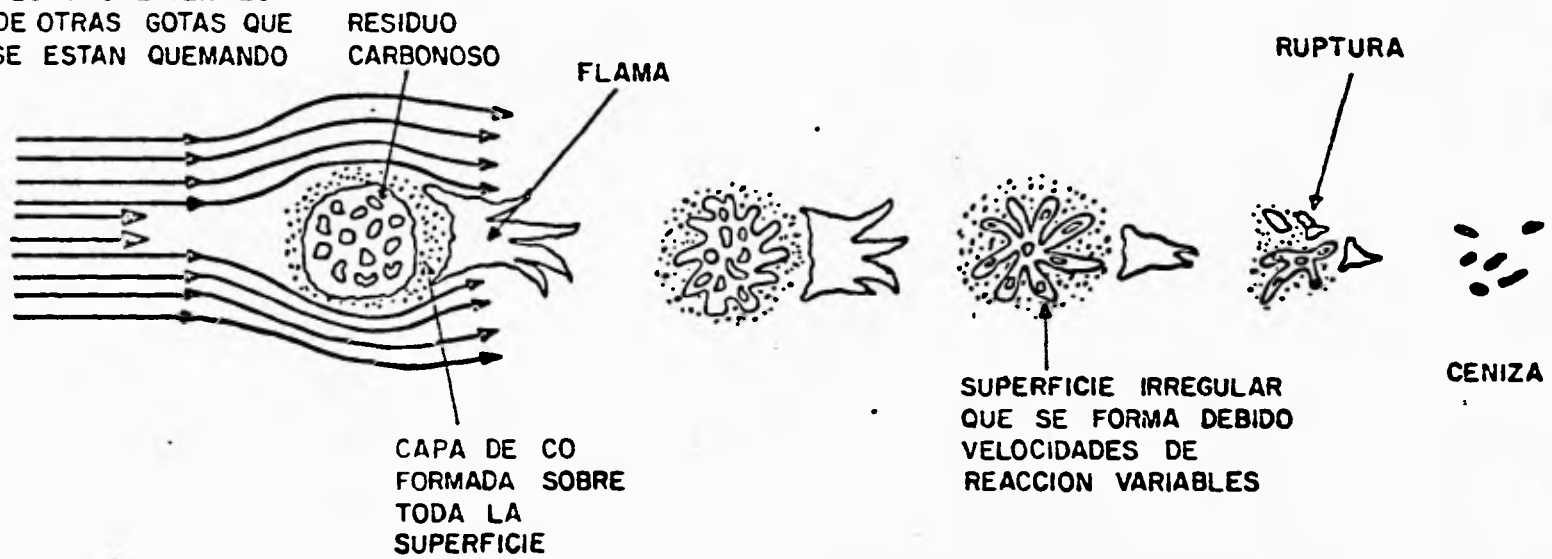
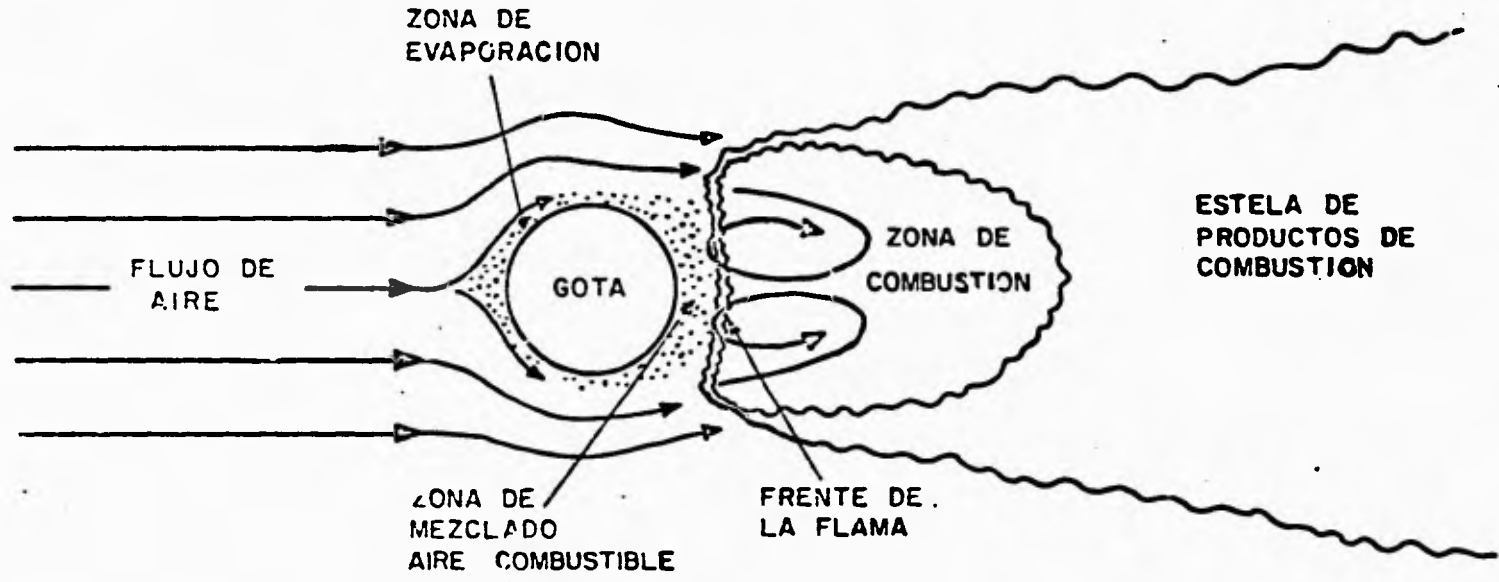


Fig. V. 1. 7 COMBUSTION COMPLETA DEL RESIDUO CARBONOSO



COMBUSTION DE ESTELA
Fig.V.1.8

CORROSION Y DEPOSITOS EN EL HOGAR DE LOS GENERADORES DE VAPOR

En fechas recientes, debido a la puesta en servicio de unidades generadoras de una gran capacidad, en las que es necesario mantener temperaturas elevadas en el hogar, se ha venido presentando frecuentemente el problema de corrosión y depósitos en el hogar.

El empleo de combustibles cada vez más degradados y por lo tanto con mayor contenido de cenizas, ha sido otro elemento contribuyente importante a este tipo de problemas. Básicamente, estos aspectos se podrían clasificar bajo los siguientes puntos:

A. Problemas de Pre-combustión.

- Presencia de lodos y sedimentos
- Corrosión.

B. Problemas de Post-combustión

- Corrosión y depósitos en zonas de alta temperatura
- Corrosión en zonas de baja temperatura
- Contaminación ambiental.

Se mencionarán aspectos de corrosión y depósitos en zonas de alta temperatura.

Se considera que son cuatro las variables más importantes en la formación de depósitos y la corrosión externa.

Las temperaturas del metal y de los gases

La composición de las sustancias que entran en contacto con las superficies metálicas y la naturaleza de estas superficies.

Los factores aerodinámicos, tales como las velocidades de gases y partículas, así como el tamaño y la consistencia de los depósitos.

Los factores metalúrgicos.

1. Sustancias minerales en los Combustibles.

Los problemas de corrosión y depósitos son debidos fundamentalmente a la presencia de materia inorgánica en los combustibles éste proviene por un lado de materiales inorgánicos extraños -

al combustible, como cloruros, partículas de arena, productos de corrosión de tuberías y tanques, desechos de refinación, etc., y por otro lado a compuestos presentes en el combustible durante el largo proceso de formación natural del mismo.

Los metales como el fierro, níquel y vanadio, están presentes en forma de compuestos organometálicos, generalmente del tipo de porfirina. El azufre se presenta en forma de sulfuros orgánicos complejos y/o sulfatos y el sodio y el potasio como complejos organometálicos, así como cloruros y sulfatos.

En cuanto a los problemas de corrosión y depósitos se refiere, se considera que el vanadio, azufre, potasio y sodio, son los causantes principales en la mayoría de los casos.

Los crudos de base asfáltica, son generalmente ricos en vanadio. Los compuestos de porfirina, en los cuales está presente la mayor parte de vanadio, son solubles en aceite, pero insolubles en agua. Su naturaleza química es tal, que son estables a temperaturas mayores de 427°C , por lo que no son destruidos en el proceso de refinación.

Como resultado, casi todo el vanadio originalmente presente en el crudo, aparecerá también en el combustible refinado.

2. El Azufre y los Sulfatos.

De los cuatro elementos mencionados como responsables de la corrosión y depósitos, se considera que el azufre es el principal. El azufre produce, tanto corrosión en las zonas de alta temperatura por la presencia de sulfatos complejos, como corrosión en las zonas de baja temperatura causada por la condensación de SO_3 para formar ácido sulfúrico. El SO_3 además de causar problemas de corrosión, es también un elemento importante en la contaminación ambiental.

La mayor parte del azufre en el combustóleo está presente en forma de compuestos orgánicos, también se ha encontrado azufre elemental y ácido sulfúrico. Generalmente, el contenido de azufre es mayor en las fracciones del petróleo a medida que aumenta el rango de destilación, o sea la mayor parte del azufre presente en -

el crudo, lo estará también en los aceites combustibles residuales

Durante la combustión, cualquier azufre que está presente en el combustible se oxida y forma dióxido de azufre (SO_2). Una parte de SO_2 se convierte posteriormente en trióxido de azufre, que reacciona con el vapor de agua para formar ácido sulfúrico - - - (H_2SO_4).

El ácido se condensa a una temperatura (punto de rocío) que es proporcional a la concentración de ácido en el flujo de los gases - (Fig. V.1.9). La condensación de ácido en las regiones más frías de la caldera (149°C o menos) ocasiona corrosión de las superficies del metal, taponando los calentadores de aire, desbalances en los ventiladores de tiro inducido y emisión de partículas ácidas como hollín ácido.

Control mecánico.- La modificación mecánica de las toberas de los quemadores pueden permitir eficiente y perfecta combustión con reducido exceso de aire. Varios proveedores de equipo han reportado la operación exitosa del generador de vapor con niveles de O_2 solamente arriba del estequiométrico (0.2 - 0.3% de O_2 medidos en el flujo de gases en la salida del economizador. La salida del economizador es considerada generalmente el punto terminal de la actividad de combustión en el flujo de los gases).

Control químico.- Catalizadores de la combustión. En generadores de vapor con quemadores de aceite, otro medio empleado para llevar a cabo la operación con más bajo O_2 involucra el uso de catalizadores de combustión. Ciertos óxidos metálicos, notablemente el bario y el manganeso, han demostrado la capacidad para reducir la conducción del carbón en el flujo de los gases. Cuando se aplican adecuadamente, éstos óxidos permiten la operación del generador de vapor con niveles reducidos de exceso de aire, sin afectar adversamente la opacidad de la pluma (gases de chimenea).

El tratamiento químico no es un sustituyente de un ajuste fino mecánico, y un generador de vapor mecánicamente deficiente puede ser raramente corregido a través de solamente la aplicación química

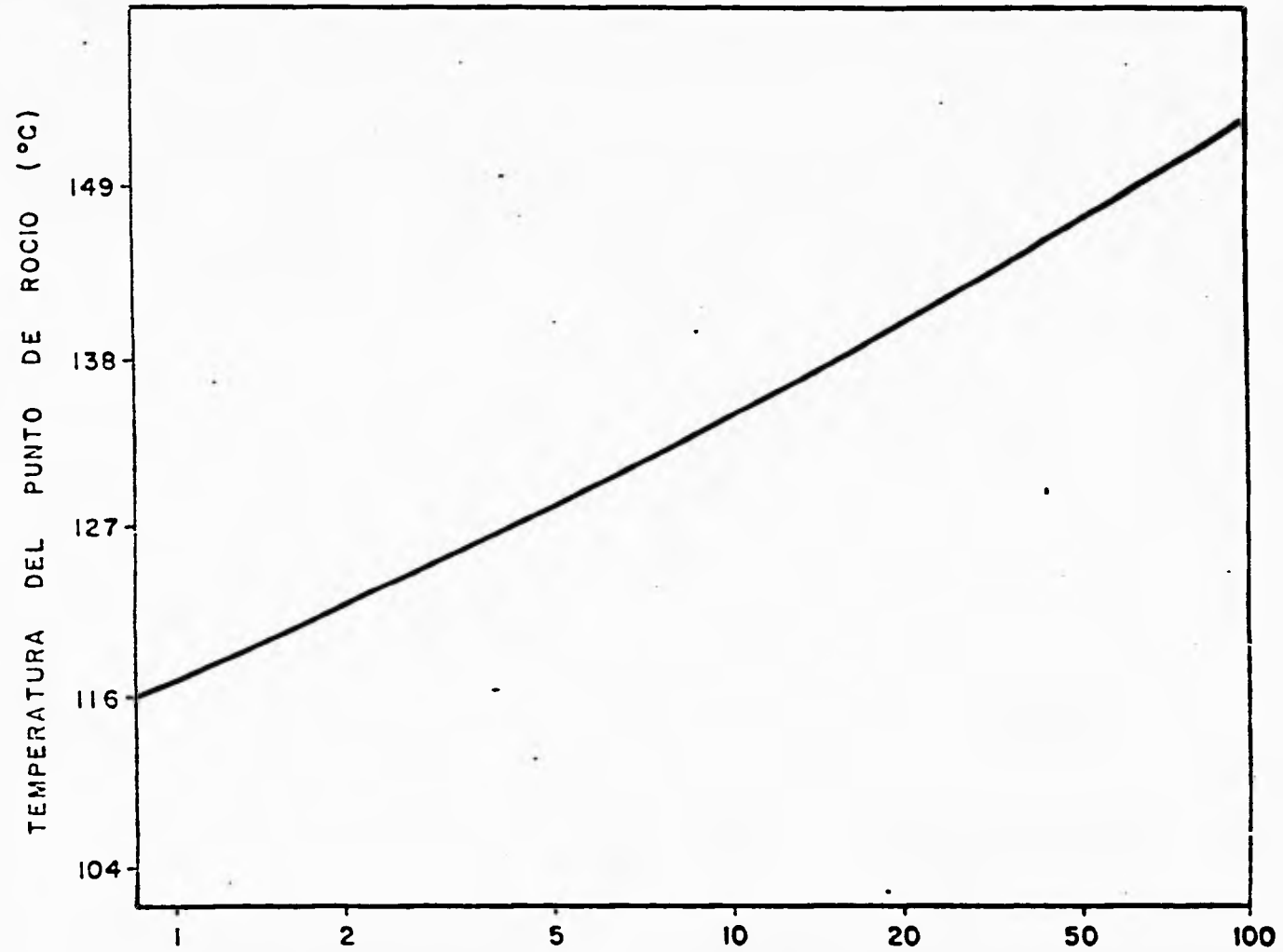


Fig.V.1.9 CONCENTRACION DE SO₃ EN EL FLUJO DE GASES (ppm)
EFECTO DE LA CONCENTRACION DE SO₃ EN EL PUNTO DE ROCIO DEL ACIDO.

Además de la combustión con bajo O_2 no elimina la formación de SO_3 sino más bien solo lo reduce.

3. Formación de depósitos.

Los depósitos son indeseables debido a tres razones principales

- Suministran un medio adecuado para la corrosión.
- Interfieren el flujo normal de gases hacia las superficies de calentamiento, y
- Disminuyen la transferencia de calor.

Los factores físicos juegan un papel importante en la formación de depósitos, ya que el movimiento de las partículas en una corriente de gases dependerá a su vez del tamaño, forma, densidad de las partículas y de las características del flujo de la corriente de gases.

4. Vanadio y Sodio.

Durante la combustión de los compuestos orgánicos de vanadio presentes en la combustión, el combustible se descompone térmicamente oxidándose en la corriente de gases a trióxidos de vanadio, pasando también, parte de los compuestos de vanadio a fase vapor en el flujo de gases. Por su parte el sodio usualmente se presenta en forma de cloruro, éste se vaporiza y reacciona con los óxidos de azufre ya sea, en la corriente de gases o después de formar depósitos en la superficie de los tubos.

Subsecuentemente siguen reaccionando el vanadio y el sodio formando vanadatos de sodio complejos con bajos puntos de fusión, estas sales provocan procesos de corrosión y formación de depósitos en zonas de alta temperatura.

Uno de los métodos más comunes para controlar la corrosión provocada por el vanadio y Sodio, es con el uso de aditivos a base de magnesio que modifica la naturaleza de la escoria elevando su punto de fusión y haciéndola fácil de remover.

5. Asfaltenos o Insolubles en Pentano.

Los efectos principales que involucra tener un alto contenido

de asfaltenos serían:

Disminución del poder calorífico neto del combustible por la generación de partículas inquemadas, depósitos carbonosos en zonas de baja temperatura del generador de vapor, contaminación atmosférica por partículas sin quemar, y en cierto grado los asfaltenos pueden predecir las exigencias del proceso de combustión.

6. Métodos Preventivos.

Debido a los combustibles residuales, generalmente contienen cantidades apreciables de vanadio y azufre, es conveniente implantar algunas medidas preventivas para disminuir los efectos que provocan la presencia de estos compuestos.

Entre éstas podemos mencionar como las más importantes las siguientes:

- Modificar las características físicas y químicas de los depósitos y abatir la formación de óxidos de azufre por medio de aditivos para combustible.
- Disminuir la formación de sustancias corrosivas en el proceso de combustión, efectuando éste con bajo exceso de aire.
- Diseñando con un arreglo adecuado las superficies de calentamiento.
- Aumentando la resistencia a la corrosión de las superficies de calentamiento, mediante recubrimientos o tratamientos especiales.

De estas medidas comentaremos a continuación las dos primeras, Aditivos para combustible y Bajo exceso de Aire.

6.1 Aditivos.

El empleo de sustancias para modificar las características físicas y químicas de los depósitos ha sido ampliamente usado para evitar los problemas de corrosión y ensuciamientos en los generadores de vapor.

Los aditivos pueden ser sólidos, líquidos y gaseosos y pueden agregarse al combustible, a los quemadores, rociado sobre las superfi-

cies de calentamiento o mezclado con los productos de combustión.

Hay cuatro razones principales para el uso de aditivos.

- ✧ Evitar la formación catalítica del SO_3 en las superficies calientes.
- ✧ Evitar la formación de sustancias corrosivas.
- ✧ Disminuir la adherencia de los depósitos en zonas de alta temperatura.
- ✧ Neutralizar los ácidos que se condensan en las superficies frías.

Los aditivos pueden actuar sobre varios de estos aspectos. Generalmente se requieren cantidades considerables de éstos productos para eliminar los efectos indeseables. Además de los problemas de manejo, el costo de los aditivos es apreciable por lo que el aspecto económico decidirá si el empleo del aditivo es práctico.

6.2 Bajo Exceso de Aire.

Se ha encontrado que el bajo exceso de aire disminuye los depósitos y corrosión de los sobrecalentadores, la corrosión en precalentadores y la emisión de cenizas ácidas.

Fundamentalmente, esto se ha logrado cuando la concentración de oxígeno en los gases es menor de 1%.

Hay dos razones que explican el fundamento de los beneficios obtenidos al operar con bajo exceso de aire.

Primeramente, como hemos visto, a menores concentraciones de oxígeno en los gases, será menor la concentración de SO_3 con la consiguiente menor formación de trisulfatos y un punto de rocío en los gases más bajo, y en segundo lugar, un bajo exceso de aire disminuirá la oxidación de vanadio. Como se vió anteriormente del estado de oxidación del vanadio descenderán las temperaturas de fusión, con lo que se ayudará a la formación de los óxidos menores, que disminuirán la corrosión y la tendencia al ensuciamiento.

Aparentemente, el bajo exceso de aire suministra un método sencillo para evitar los problemas que se han mencionado. Sin embargo,

su operación trae consigo serios problemas de ingeniería.

El trabajar con porcentajes menores de 1% de oxígeno en los gases, implica una medición muy exacta del combustible y oxígeno de cada quemador y una operación con carga constante.

El diseño de los quemadores, también es importante, dado que se necesitará una mejor atomización, para asegurar la íntima mezcla de combustible y de el aire. Se considera que la atomización con vapor, es necesaria para este tipo de operación, dado que suministra una mayor área de contacto entre las partículas de combustible y el aire de combustión.

El problema de la formación de humos por combustión incompleta - dará un límite práctico del mínimo nivel de oxígeno permitido en un generador de vapor.

Se considera que el bajo exceso de aire proporcionará el método más adecuado, para el control de corrosión y depósitos en generadores de vapor que queman aceite combustible residual.

A medida que se desarrollen nuevas técnicas de diseño de generadores de vapor, se considera que el control con bajo exceso de aire será indispensable en su operación.

El gas combustible es suministrado a la central, a través de un gasoducto de Pemex, el cual llega a una estación de medición, donde se le reduce la presión y se cuantifica el consumo.

El gas natural por ser más noble para su manejo que el combustible, requiere de menor cantidad de equipo para su control y conducción hasta los quemadores del generador de vapor a las condiciones que éstos lo requiere, empleando para ello únicamente las válvulas asociadas con equipo auxiliar que en conjunto hacen que el sistema funcione eficientemente y con máxima seguridad.

Este sistema se compone de dos subsistemas, que son: (Fig. V.2.

- 1):
- El suministro de gas a piloto, y
- El suministro de gas a quemadores

SUB-SISTEMA DE SUMINISTRO DE GAS A PILOTOS.

El suministro de gas a pilotos se puede realizar de dos fuentes diferentes:

- Suministro normal desde la caseta de medición a través del cuadro de regulación de presión gas línea.
- Suministro de emergencia desde los tanques de gas a través de una válvula autocontroladora.

Ambos suministros tienen la función de proporcionar el gas necesario para los 32 pilotos con los que cuenta el generador de vapor, y están integrados fundamentalmente por: tanques de emergencia, cuadros de control de presión, válvulas de seguridad y principalmente por los propios pilotos.

DESCRIPCION DEL EQUIPO PRINCIPAL.

Se tienen 32 pilotos de gas, del tipo placa EDDY; están diseña-

El gas combustible es suministrado a la central, a través de un gasoducto de Pemex, el cual llega a una estación de medición, donde se le reduce la presión y se cuantifica el consumo.

El gas natural por ser más noble para su manejo que el combustible, requiere de menor cantidad de equipo para su control y conducción hasta los quemadores del generador de vapor a las condiciones que éstos lo requiere, empleando para ello únicamente las válvulas asociadas con equipo auxiliar que en conjunto hacen que el sistema funcione eficientemente y con máxima seguridad.

Este sistema se compone de dos subsistemas, que son: (Fig. V.2.

- 1):
- El suministro de gas a piloto, y
- El suministro de gas a quemadores

SUB-SISTEMA DE SUMINISTRO DE GAS A PILOTOS.

El suministro de gas a pilotos se puede realizar de dos fuentes diferentes:

- Suministro normal desde la caseta de medición a través del cuadro de regulación de presión gas línea.
- Suministro de emergencia desde los tanques de gas a través de una válvula autocontroladora.

Ambos suministros tienen la función de proporcionar el gas necesario para los 32 pilotos con los que cuenta el generador de vapor, y están integrados fundamentalmente por: tanques de emergencia, cuadros de control de presión, válvulas de seguridad y principalmente por los propios pilotos.

DESCRIPCION DEL EQUIPO PRINCIPAL.

Se tienen 32 pilotos de gas, del tipo placa EDDY; están diseña-

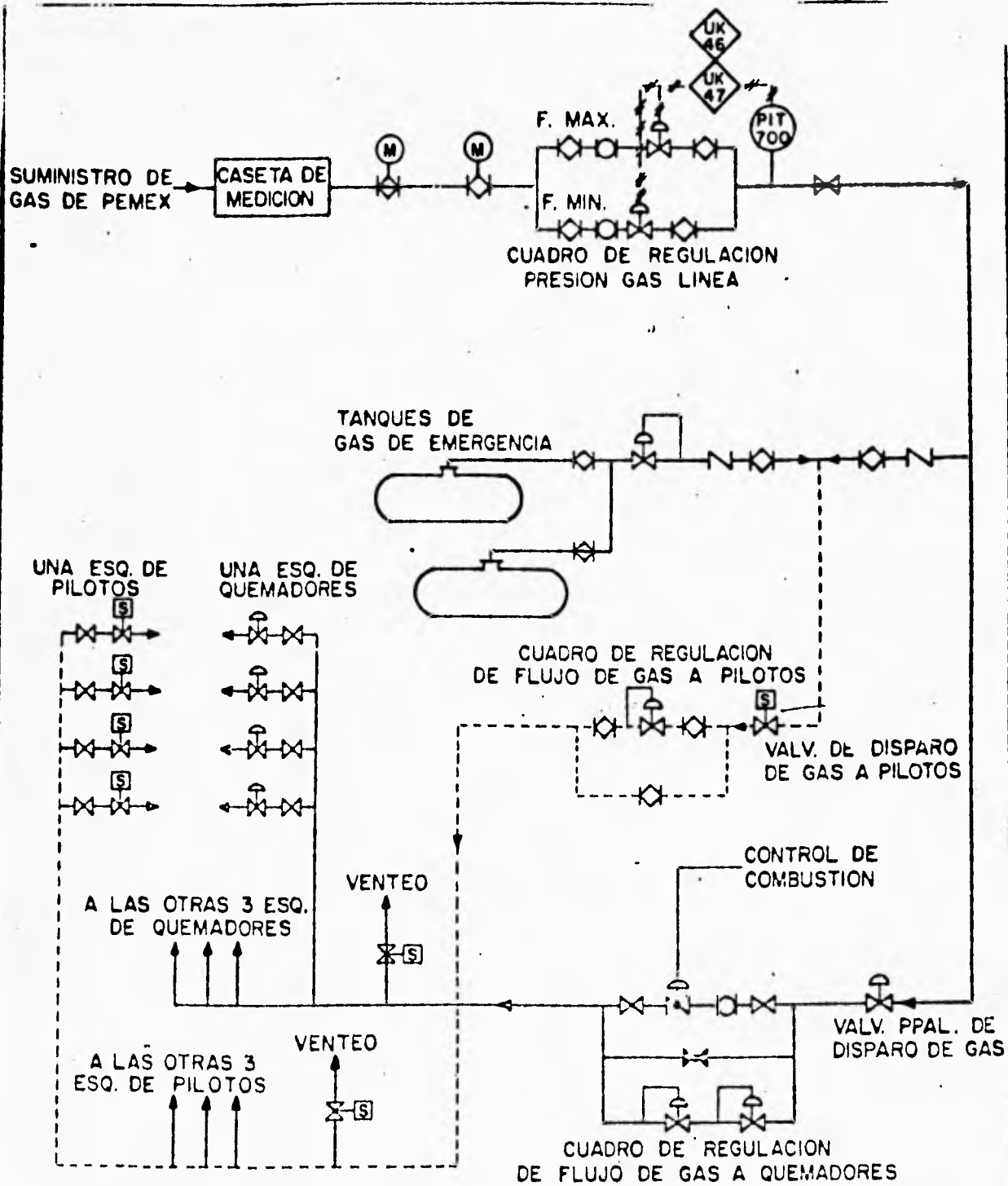


FIG. V. 2. 1 DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE LOS SUBSISTEMAS DE GAS A PILOTOS Y QUEMADORES.

dos para servir como pilotos de los quemadores principales y adyacentes, ya sea de combustóleo o de gas. Cada piloto consume aproximadamente 6,000 M³/hr de gas, con una presión de entrada, en la válvula de gas de 61.78 KPa. Las partes que integran a cada piloto se muestran en la (Fig. V.2.2).

SUBSISTEMA DE SUMINISTRO DE GAS A QUEMADORES.

El objetivo de este subsistema es proporcionar un suministro continua de gas, en cantidades apropiadas, con una presión determinada - al conjunto de quemadores con que está equipado el generador de vapor. Está integrado fundamentalmente por: cuadros de regulación de flujo de gas; válvulas de seguridad y principalmente por los propios quemadores.

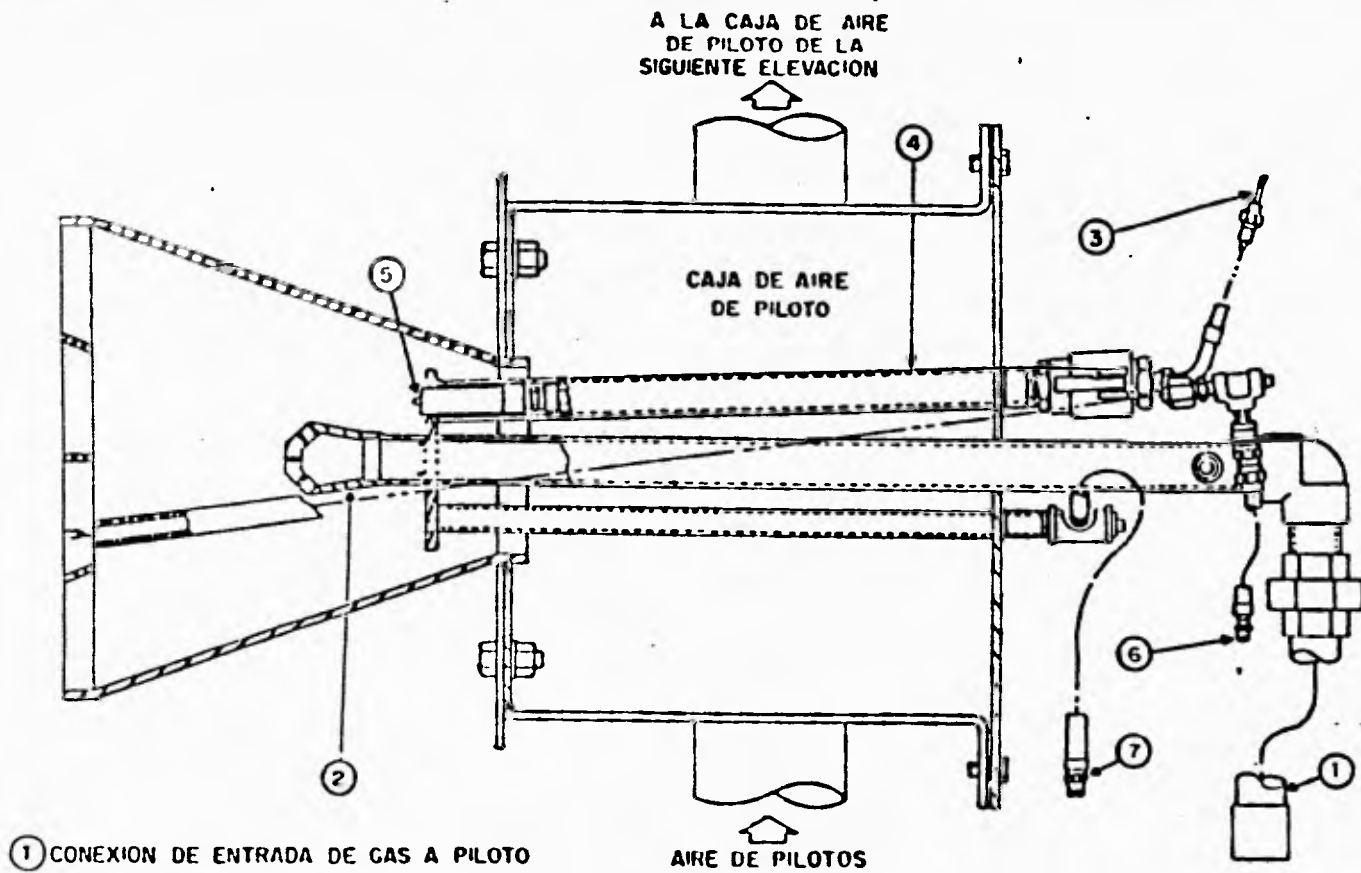
DESCRIPCION DEL EQUIPO PRINCIPAL.

QUEMADORES DE GAS.

El generador de vapor cuenta con 16 quemadores de gas, distribuidos en cuatro niveles (elevaciones A, B, C, D) capaces de suministrar el 100% de la carga de la unidad. Al igual que los quemadores de combustóleo éstos también se encuentran ubicados en las paredes del hogar. Los flujos de aire y gas se mezclan por medio de toberas móviles, las cuales pueden inclinarse hacia arriba y hacia abajo en un ángulo total de 60° C, como se muestra en la (Fig. V.2.3)

DESCRIPCION FUNCIONAL.

El gas natural es suministrado por Petroleos Mexicanos, desde un gasoducto que pasa cercano a la central, hasta una estación de medición en la cual se cuantifica el consumo y se reduce la presión - de 3,100 a 670 KPa. El gas fluye de la estación de medición pasando por una válvula motorizada, que bloquea el suministro de gas a la -



- ① CONEXION DE ENTRADA DE GAS A PILOTO
- ② TOBERA DE GAS DE PILOTO
- ③ CONEXION ELECTRICA DEL ENCEDEDOR
- ④ CUERPO DEL DISPOSITIVO ENCEDEDOR
- ⑤ BUJIA DE IGNICION
- ⑥ CONEXION DE BAJA PRESION DIFERENC. PARA DETECCION DE FLAMA PILOTO
- ⑦ CONEXION DE ALTA PRESION DIFERENC. PARA DETECCION DE FLAMA PILOTO

FIG. V.2.2 PILOTO DE GAS.

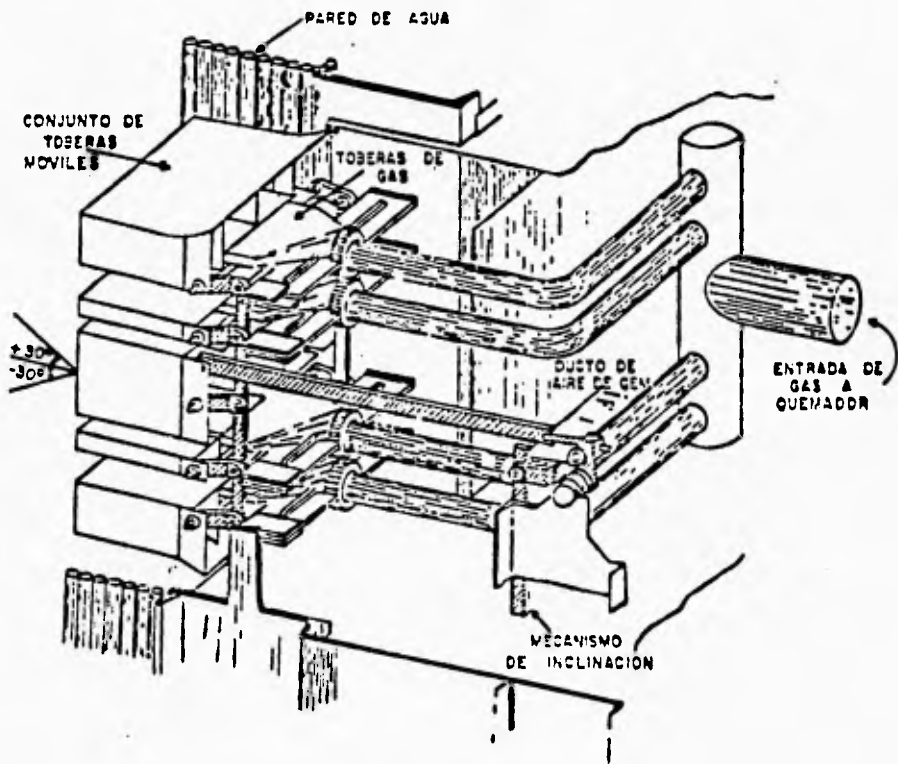


FIG. V.2.3 QUEMADOR DE GAS.

central, hasta un punto cercano al generador de vapor donde se encuentra una segunda válvula motorizada, que se utiliza para bloquear el suministro de gas a la unidad.

Enseguida se encuentra el cuadro de regulación de presión gas línea en donde se encuentran dos válvulas de control, una de flujo máximo y otra de flujo mínimo, las cuales se encargan de regular la presión de gas en el cabezal posterior a ellas en 480 KPa, la de flujo mínimo regulará desde el inicio hasta el 25% de carga y la del flujo máximo del 20% de carga en adelante.

Después del cuadro de regulación la línea de gas se ramifica en dos, una que alimenta a quemadores y la otra a pilotos. En cada caso primeramente se encuentran las válvulas de disparo respectivas.

La válvula de disparo de gas principal a quemadores abrirá siempre y cuando se cumplan las siguientes condiciones:

- Se encuentre restablecido el circuito de disparo del generador de vapor.
- La presión de gas línea se encuentre normal (410 KPa)
- Todas las válvulas de quemadores estén cerradas.

Y cerrará por las siguientes causas:

- Oprimiendo su interruptor de control.
- Por disparo del generador de vapor.
- Alta y baja presión de gas a quemadores por más de dos segundos
- + Alta presión 180 KPa
- + Baja presión 7 KPa.
- Cualquier válvula de quemador falle al cierre y su piloto correspondiente se encuentre apagado..

Después de la válvula principal de disparo de gas, se encuentra el cuadro de regulación de flujo de gas a quemadores, el cual consta de dos válvulas autocontroladas de flujo mínimo y una válvula de flujo máximo, controlada desde la sala de control por el operador o automáticamente por el control de combustión, dependiendo esto de la forma

de operación auto o manual.

Las dos válvulas de flujo mínimo se encargan de regular una presión constante de 42 KPa para alimentar el primer nivel de quemadores de gas que se ponga en servicio a su capacidad mínima. Una de las válvulas de flujo mínimo regula la presión con un ajuste "grueso" y la otra le proporciona el ajuste "fino".

Cuando el primer nivel de quemadores de gas se encuentra en servicio alimentado por las válvulas de flujo mínimo y se requiere mayor capacidad de fuegos, se mandará señal a la válvula de flujo máximo (en forma manual por el operador o automáticamente por el control de combustión) para que empiece a abrir, lo que ocasionará que las válvulas de flujo mínimo detecten un incremento en la presión del gas que tratarán de controlar hasta cerrarse, por lo que en lo sucesivo la válvula de flujo máximo queda encargada de la regulación de gas a quemadores.

Del cabezal de gas, adelante de la estación reguladora de flujo se deriva una línea de descarga a la atmósfera a través de la válvula principal de venteo, la cual tiene la finalidad de desalojar el gas que queda atrapado en la línea desde los quemadores hasta la válvula principal de disparo de gas, cuando ésta por alguna razón, es cerrada.

La válvula principal de venteo se cerrará automáticamente cuando la primera válvula de quemador comience a abrir o después de que la válvula principal de disparo de gas está completamente abierta.

Enseguida, el cabezal de gas se ramifica en 4 tuberías, cada una de las cuales alimenta a todos los quemadores de gas de un nivel.

En las líneas de los quemadores únicamente se encuentra una válvula neumática macho encargada de dar el paso de gas a cada quemador. Cada una de estas válvulas dispone de un venteo a la atmósfera, que se abre cuando la válvula macho cierra esto es con el fin de desalojar el gas que queda atrapado en el cañón del quemador (de la válvula macho hacia adelante).

Las válvulas macho de los quemadores son controladas por niveles desde el inserto de quemadores, manual o automáticamente, lo cual de-

pende de la posición en la que se encuentra el interruptor selector de control de carga (auto o manual).

Después del cuadro de regulación gas línea se deriva la línea - que alimenta a los pilotos, tanto de quemadores de gas como de combustoleo. A esta línea se le une otra que proviene del tanque de gas de emergencia, que alimenta a los pilotos de los quemadores de combustoleo cuando no se tenga suministro de gas en la central. En esta línea se encuentra la válvula auto controlada que regula el gas que proporciona el tanque de gas de emergencia, a 480 KPa.

Después de la unión de las dos líneas se encuentra la válvula solenoide de disparo de gas a pilotos, la cual podrá abrirse siempre y cuando se cumplan las siguientes condiciones:

- Se encuentre restablecido el circuito de disparo del generador de vapor.
- Todas las válvulas de pilotos estén cerradas.
- Presión de suministro de gas normal (410 KPa).

Esta válvula también puede abrirse con una señal de arranque "AUTOMATICO" de elevación, cuando se cumplan las anteriores condiciones. Al abrir la válvula de disparo de pilotos, cerrará el venteo del cabezal.

La válvula de disparo de gas a pilotos cerrará por las siguientes causas:

- Oprimiendo momentáneamente su interruptor de control.
- Cuando la presión de gas a pilotos es alta o baja (103 o 42 KPa, respectivamente), por más de dos segundos y esté alguna válvula de pilotos abierta.
- Disparo del generador de vapor.

La válvula de venteos abrirá automáticamente cuando se cierra - la válvula de disparo de gas a pilotos, y todas las válvulas de pilotos estén cerradas.

Después de la válvula de disparo de gas a pilotos se encuentra

una válvula autocontrolada encargada de regular la presión de gas a pilotos a 59 KPa. Posteriormente, la línea de gas a pilotos se ramifica en 4 cabezales, de los cuales se alimenta a todos los pilotos de una esquina tanto para quemadores de gas como de combustóleo.

Después de la válvula autocontrolada que regula la presión de gas a pilotos, se deriva una línea que descarga hacia la atmósfera que constituye el venteo de pilotos.

La válvula de venteo de pilotos abrirá cuando la válvula de disparo de gas a pilotos se encuentre cerrada y todas las válvulas de pilotos también se encuentren cerradas, y cerrará al abrir la válvula de corte de gas a pilotos o porque alguna válvula de piloto se encuentre abierta.

Normalmente en las Centrales Termoeléctricas el Diesel es requerido solo en los encendidos de la caldera. El gas y el combustóleo son utilizados en operación con carga debido a su valor calorífico.

El gas natural tiene un costo muy alto además de que no se almacena en las Centrales Termoeléctricas. Aunque sería ideal que solo se quemara gas natural por lo noble de su manejo y poco equipo - que se requiere para que llegue a los quemadores. En algunos lugares de la República sería un costo altísimo. El construir un gasoducto para llevarlo hasta las Centrales Termoeléctricas, así que el uso de diesel y combustóleo es más común.

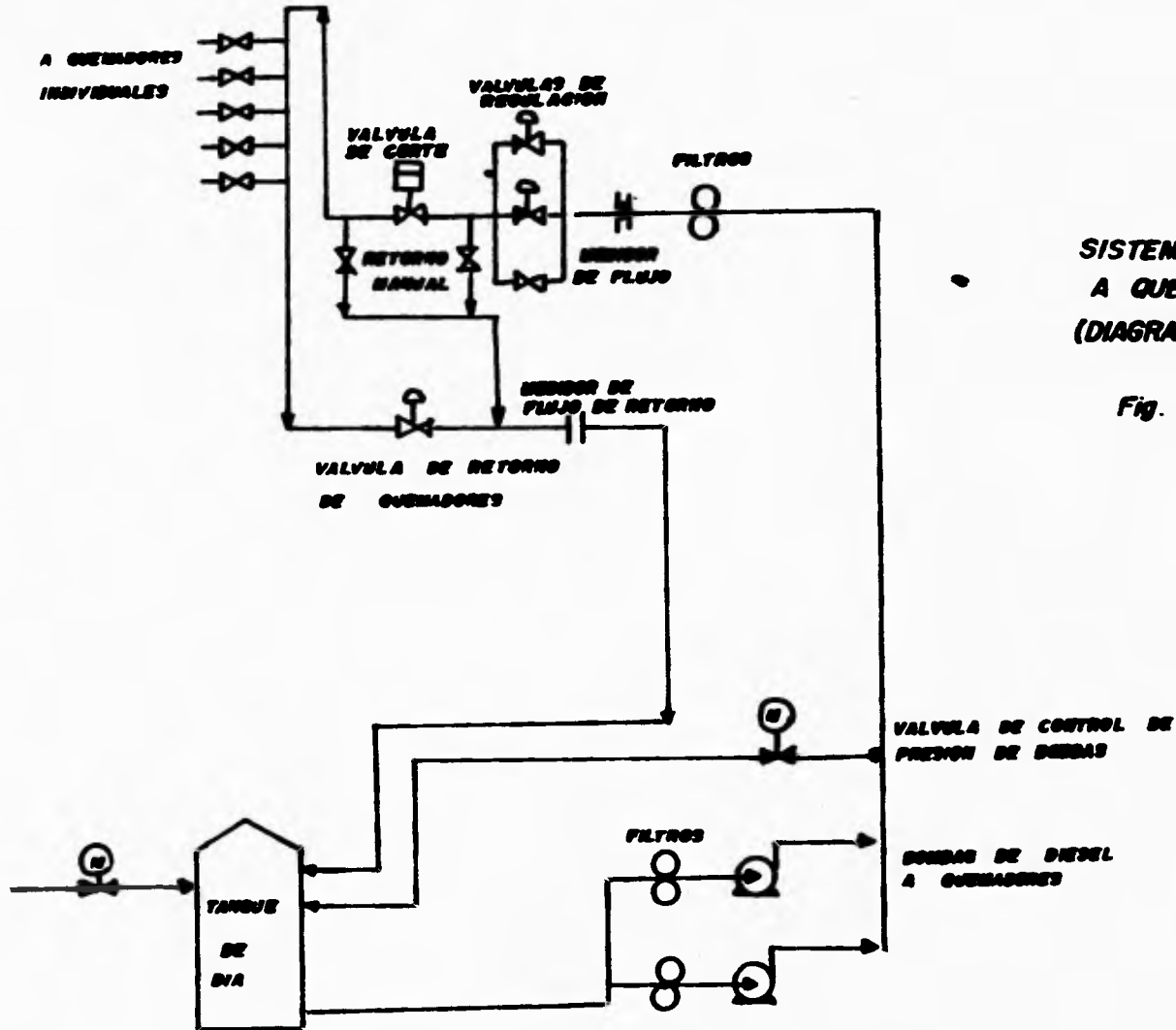
El diesel requiere de un sistema no muy complejo ya que éste - utiliza parte del sistema de transporte hacia los quemadores que el que lleva el combustóleo (Fig. V.3.1).

El diesel normalmente llega en camiones-cisterna ya que el tanque es de baja capacidad y debido a que su uso no es constante. Este tanque está instalado muy cerca al tanque de uso diario de combustóleo - y cercano al generador de vapor.

Este tanque consta de:

- Línea de venteo en el techo del tanque
- Línea de rebosadero y línea de drenaje
- Registro para inspección y limpieza
- Línea de descarga
- Línea para recirculación.
- Acceso para medición directa del nivel en el techo del tanque
- Indicador directo de nivel (tipo flotador)
- Consta de indicadores, transmisores, interruptores y alarmas para nivel y temperatura.

Posterior al tanque están dos bombas de diesel a quemadores del 100% una para operación normal y otra de reserva. Estas bombas deberán proporcionar la presión y el flujo de diesel para llegar a los quemadores y pilotos a la presión requerida.



SISTEMA DE DIESEL
A QUEMADORES
(DIAGRAMA SIMPLIFICADO)

Fig. V. 3.1

Estas bombas constan de los siguientes accesorios:

- Válvula de bloqueo en la succión y en la descarga
- Válvula de no retorno y derivación para llenado
- Válvula de alivio
- Indicadores de presión en succión y descarga con sello químico

Entre la bomba y el tanque de diesel se tiene un filtro de succión. Se instala para proteger a las bombas de diesel contra posibles daños por la entrada de sólidos o materias extrañas contenidas en el diesel. El estado de limpieza del filtro debe observarse mediante un manómetro de presión diferencial entre la entrada y la salida del filtro.

La válvula de control de presión de descarga de la bomba tiene la función de retornar una porción del flujo diesel hacia el tanque con el objeto de que la bomba opere a una presión constante.

El medidor de flujo de diesel a quemadores se instala después de los filtros para medir el flujo que está pasando. El medidor de flujo cuenta con válvulas aisladoras, válvulas de derivación y válvulas de purga para mantenimiento.

Seguido están las válvulas de control, regulan la presión del diesel en el cabezal de quemadores. Estas son 3 : la válvula de control, válvula de flujo mínimo y válvula de derivación; que funcionan igual a las que se utilizan en el sistema de combustoleo y que ahí se explicará su función más detenidamente.

Se tiene también la válvula de corte de diesel, la cual protege al generador de vapor, bloqueando totalmente el paso de diesel a quemadores cuando las condiciones de operación no son permisibles.

Los quemadores de diesel son los mismos que los de gas, solo que para el uso del diesel se cambia la ficha de atomización. En la parte de combustoleo también son explicados más detalladamente; la forma de atomización del diesel es diferente a la del combustoleo ya que éste utiliza aire y el combustoleo vapor.

Así que cuando un quemador de diesel se enciende, se utiliza una válvula que permita la entrada de aire, la cual se mezcla con la

entrada de diesel al cañon del quemador produciendo una emulsion -
de diesel-aire que al liberarse en el hogar, el diesel se atomiza y
asi no hay perdidas por escurrimiento.

Con excepción del gas natural, el cual no se almacena en las plantas termoeléctricas, la utilización de cualquier otro combustible requiere de depósitos y sistemas exclusivos para su manejo.

El presente subtítulo está enfocado al almacenamiento y manejo de combustoleo pesado.

El equipo principal que constituye este sistema es el siguiente:

1. Según tipo de recepción.
 - a) Oleoducto
 - b) Barco
 - c) Ferrocarril
 - d) Camiones
2. Fosas colectoras
3. Calentadores en fosa colectoras.
4. Bombas de transferencia.
5. Tanque de almacenamiento.
6. Bombas de transferencia.
7. Accesorios de las bombas de transferencia.
8. Tuberías de combustible.
9. Venas de calentamiento.
10. Bombas de achique.

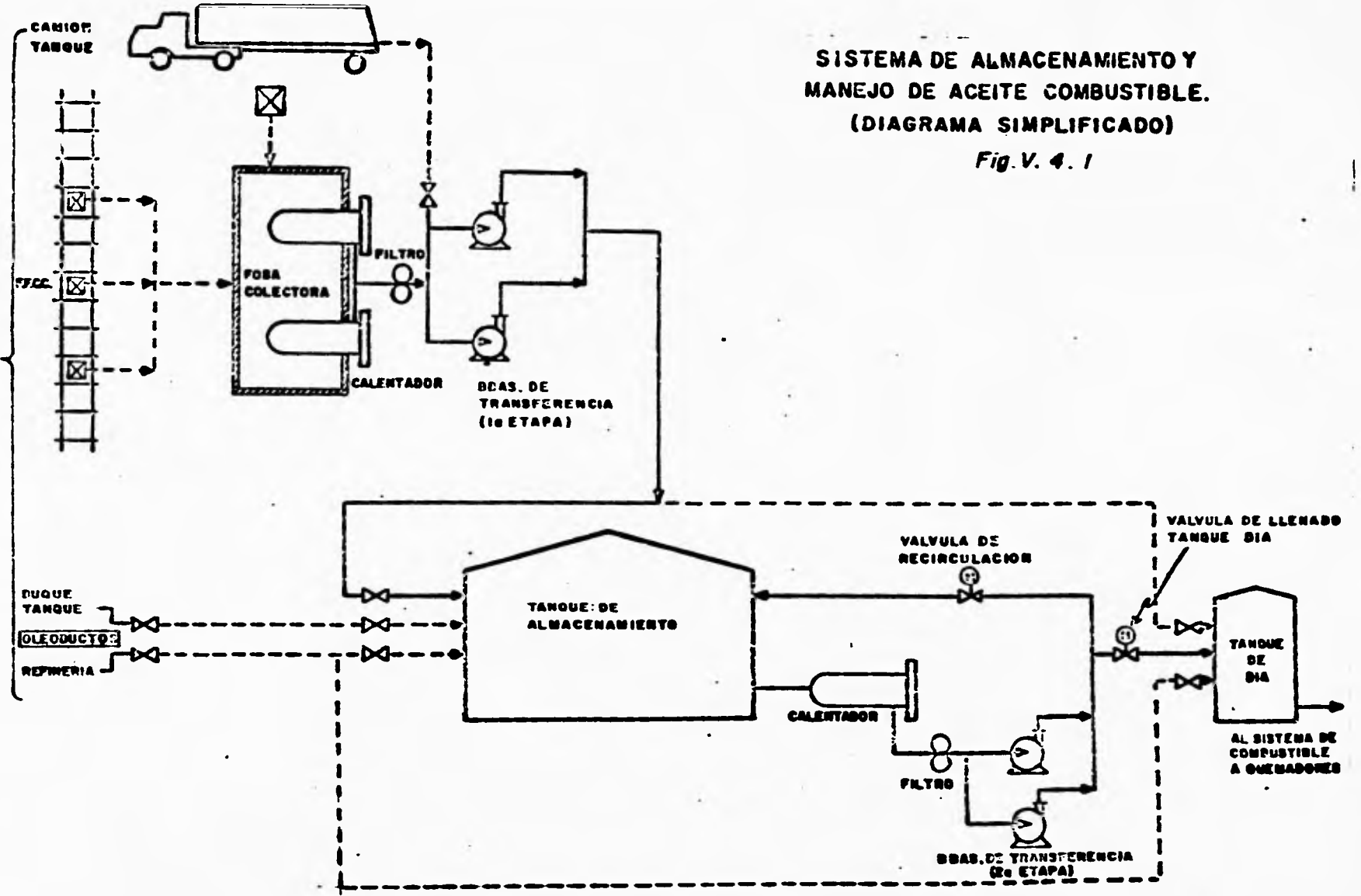
SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE ACEITE COMBUSTIBLE (Fig. V.4.1).

DESCRIPCION DEL EQUIPO PRINCIPAL.

1. Formas de recepción.- Dependiendo de la localización geográfica de una Central y de los medios disponibles para transportar el aceite combustible, existen diversas formas de recepción del mismo. Una Central puede contar con una o varias formas de recepción, entre las más frecuentes están:

345

OPCIONES PARA RECEPCION DE ACEITE COMBUSTIBLE



SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE ACEITE COMBUSTIBLE. (DIAGRAMA SIMPLIFICADO)

Fig. V. 4. 1

- a) Oleoducto.- Se aplica a las centrales localizadas en lugares cercanos a una refinería. El combustible se bombea directamente de la refinería hacia los tanques de almacenamiento de la central.
- b) Barco (Buque-tanque) o Barcazas.- Se aplica en las centrales localizadas en las costas. Se requiere la existencia de las instalaciones necesarias para el atraque (muelles) y del equipo (barco con bombas, estaciones de bombeo). El combustible se bombea directamente del barco hacia los tanques de almacenamiento de la central (o también a los tanques de uso diario) a través de un oleoducto. Por la rapidez con que se manejan grandes volúmenes de aceite combustible, hacen que este medio sea relativamente económico.
- c) Ferrocarril (Carros-tanque).- Se aplica en las centrales que cuentan con servicio de ferrocarril. Requieren de una zona de patios para las maniobras de las locomotoras y los carros-tanque. El combustible se descarga por gravedad, escurriendo por la parte inferior de los carros-tanque hacia unas trincheras o vertederos, circula por canales o ductos y llega a unas fosas en donde es calentado y succionado por unas bombas para enviarse a los tanques de almacenamiento. La descarga de los carros-tanque se hace más fluida introduciendo por la tapa superior de los carros-tanque, unas lanzas calentadas con vapor.
- d) Camiones (camión-cisterna).- Se aplica en las centrales de baja capacidad o en cualquier central, como un medio alternativo, en caso de retrasos o fallas en los medios normales de suministro. El combustible se descarga de los camiones, a un vertedero que conduce a las fosas en donde es calentado y bombeado hacia los tanques de almacenamiento o hacia el tanque de consumo diario.
2. Fosas colectoras.- Cuando la recepción se hace mediante camión o ferrocarril se usan fosas colectoras. Todos los vertederos en donde se descarga el combustible convergen a unas fosas colecto-

ras. Todos los vertederos en donde se descarga el combustible - convergen a unas fosas colectoras construidas de concreto, adyacentes a la caseta de bombas de transferencia. En estas fosas se encuentran unos calentadores que aumentan la temperatura del aceite combustible, a la temperatura requerida por las bombas - que lo enviarán a los tanques de almacenamiento.

3. Calentadores en fosa colectoras.- En las fosas colectoras se -- encuentran unos calentadores que tienen la función de aumentar-- la temperatura del aceite combustible a la temperatura requeri-- da para su manejo en las bombas. Los calentadores funcionan con vapor y se encuentran sumergidos en el combustible. Los calen-- tadores generalmente se instalan en la línea de succión de las - bombas de transferencia al tanque principal, cuando se instalan-- así, se les llama calentadores de succión.

Los calentadores se disponen para que uno de ellos permanezcan - en servicio mientras que el otro permanece como reserva. El con trol de temperatura de succión de las bombas se realiza mediante un controlador de temperatura y una válvula de regulación del - vapor común para ambos calentadores, el condensado se recupera-- mediante trampas, hacia el tanque de retorno de condensado del - generador vapor/vapor.

4. Bombas de Transferencia (1a. etapa).- Cuando se usan fosas co-- lectoras es necesario el uso de bombas para la transferencia de-- combustible hacia los tanques de almacenamiento. En las centra-- les que tienen suministro exclusivamente por ferrocarril, gene-- ralmente se instalan dos bombas por unidad; una para operación - normal y la otra de reserva. Para manejo de aceite combustible - pesado (también llamado numero 6 o Bunker "C") se usan bombas - rotativas tipo tornillo, que se adapta a las altas viscosidades-- de este tipo de combustible.

5. Tanque de almacenamiento.- Son tanques de volúmen muy grande - que se encuentran en un punto intermedio entre la zona de recep-

ción y la zona en donde se consume el combustible. Los tanques se construyen de placa de acero, son de forma cilíndrica con techo cónico.

Estos tanques están protegidos con muros de contención o diques y separados de edificios, equipo, materiales peligrosos, líneas de transmisión, etc.

Cada unidad tiene su tanque de almacenamiento con una capacidad mínima tal que permite la operación de la unidad al 100% de la carga durante 15 días. Un tanque de almacenamiento puede suministrar combustible a las otras unidades. Las líneas de llenado que llegan al tanque no deben producir salpicaduras interiores, que originen electricidad estática y también pueden producir grandes cantidades de burbujas de aire que quedan atrapadas en el combustible, por lo tanto, las llegadas de líneas por la parte superior, bajan por el interior del tanque hasta un nivel cercano a la base del tanque, y deben contar con una rompedora de sifón.

Los tanques de almacenamiento también llevan líneas de venteo; líneas de recirculación para las bombas y para mantener el tanque caliente; líneas de purga para drenar cualquier acumulación de agua o lodos en la parte inferior; indicadores visuales de nivel (tipo flotador); y un orificio en la parte superior para la medición directa (con cinta) del nivel del tanque.

Calentadores en los tanques de almacenamiento.- Los tanques de almacenamiento pueden tener calentadores internos y calentadores de succión. Los calentadores internos mantienen la temperatura del combustible en el tanque, los calentadores de succión calientan el combustible que pasa a través de ellos hasta la temperatura requerida por las bombas para el manejo del combustible. En el caso de los calentadores de succión se considera un calentador para cada tanque de almacenamiento, aunque debe existir un arreglo que permita la operación del calentador con combustible.

En el caso de los calentadores de succión se considera un-

calentador para cada tanque de almacenamiento, aunque debe existir un arreglo que permita la operación de un calentador con combustible del tanque de la otra unidad.

El medio de calefacción usado es vapor procedente del generador vapor/vapor; el condensado se recupera mediante trampas, hacia el tanque de retorno de condensado del generador vapor/vapor.(Fig. V.4.2).

El control de la temperatura de salida del combustible es independiente para cada calentador y se logra mediante un controlador y una válvula automática de vapor en cada calentador.

6. Bombas de transferencia (2a. etapa)().- La función de estas bombas es transferir el combustible desde los tanques de almacenamiento hasta los tanques de uso diario. Generalmente se instalan 3 bombas del 100% de capacidad c/u. para un grupo de 2 unidades; se define como 100% de la capacidad para llenar un tanque de día en 4 horas.

Al igual que las bombas de transferencia de la primera etapa, se usan bombas rotativas del tipo de tornillo.

7. Accesorios de las Bombas de Transferencia.- Las bombas de transferencia cuentan con una serie de accesorios para la operación eficiente del equipo, entre estos tenemos:

Filtros.-

Se instalan en la succión de las bombas para proteger a las bombas, que tienen huelgos muy pequeños, contra daños por materiales extraños, o sólidos contenidos en el combustible. El aceite pasa por una canasta con malla o perforaciones que retienen los materiales extraños. Son del tipo duplex para permitir la limpieza de uno de ellos cuando se requiera, de tal forma que con el movimiento de una palanca de cambio o de un par de válvulas, se cambia el flujo al filtro de reserva.

Válvulas de alivio.-

Se usan para protección de las bombas cuando se presentan -

ENTRADA
DE VAPOR

TUBOS
ALETEADOS

SALIDA DEL
CONDENSADO

CALENTADORES INTERIORES DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACEITE
Fig. V.4. 2 COMBUSTIBLE

sobre presiones, alivian la presión de la descarga hacia la succión.

En los casos de recepción mediante oleoducto o buque-tanque, ésta es la única etapa de transferencia de combustible por lo que simplemente se llaman "Bombas de Transferencia de Aceite Combustible"

Válvulas aisladoras.-

Se usan para aislar una bomba cuando se requiere someterla a mantenimiento.

Válvulas de no retorno.-

Se aplican para evitar la recirculación en una bomba cuando varias bombas descargan en un cabezal común.

Manómetros.-

Para indicar la presión en la succión y en la descarga de las bombas, también para indicar la presión diferencial como medio para conocer el estado de limpieza de los filtros. Los manómetros tienen un sello químico de glicerina para evitar el contacto del combustible con el instrumento.

Termómetros.-

En la línea de succión de la bomba para indicar la temperatura del combustible y asegurar el manejo adecuado.

8. Tuberías de combustible.- Las tuberías para conducción de combustible pueden ser subterráneas o externas. Se prefieren las trayectorias externas debido a que permiten la observación directa de sus condiciones, es más fácil su instalación y mantenimiento. Las tuberías pueden viajar al nivel del suelo apoyadas sobre soportes de concreto o dentro de trincheras abiertas.

Las tuberías de combustible se cubren con materiales aislantes, generalmente preformados, que evitan el enfriamiento del combustible. Exteriormente se cubren con un forro de lámina de aluminio para protegerlas del desgaste del clima.

9. Venas de Calentamiento.- Todas las líneas de combustible deben llevar venas de calentamiento. Las venas son tuberías de diámetro menor y están en contacto con la tubería que calientan. Por el interior de las venas circula vapor procedente del generador vapor/vapor; este flujo es el que mantiene caliente a la tubería

Las venas pueden tener trayectorias espirales rodeando a la tubería o trayectorias rectas en forma paralela a la tubería. - Las venas se construyen con tubería de cobre o tubería de acero.

En la trayectoria de las venas, existen trampas a cada determinada distancia, para extraer el condensado que se forma y asegurar un calentamiento a lo largo de toda la tubería. El condensado se recupera en un tanque colector de donde es enviado mediante unas bombas, hacia el tanque de retorno de condensado del generador vapor/vapor (Fig. V.4.3).

10. Bombas de Achique.- Tienen la función de extraer el agua acumulada en el fondo de la fosa colectora. Debido a la diferencia de densidades entre el agua y el aceite combustible, el agua tiende a acumularse en la parte inferior de la fosa, de donde es succionada por las bombas.

También pueden tenerse bombas de achique en la caseta de las bombas de transferencia. Debido a que la caseta se encuentra en un nivel inferior al nivel del suelo, existe la factibilidad de una acumulación de agua en el piso de la caseta causado por las entradas de agua de lluvia, filtraciones, fuga en las venas de vapor, etc.

DESCRIPCION OPERATIVA.

Cuando la recepción se hace por ferrocarril, los carros-tanque que se acomodan sobre los vertederos, se retiran los tapones de las líneas de descarga y se abren las válvulas del carro-tanque. Las lanzas de vapor para calentamiento se introducen por la parte superior para facilitar la descarga. El combustible escurre -

353

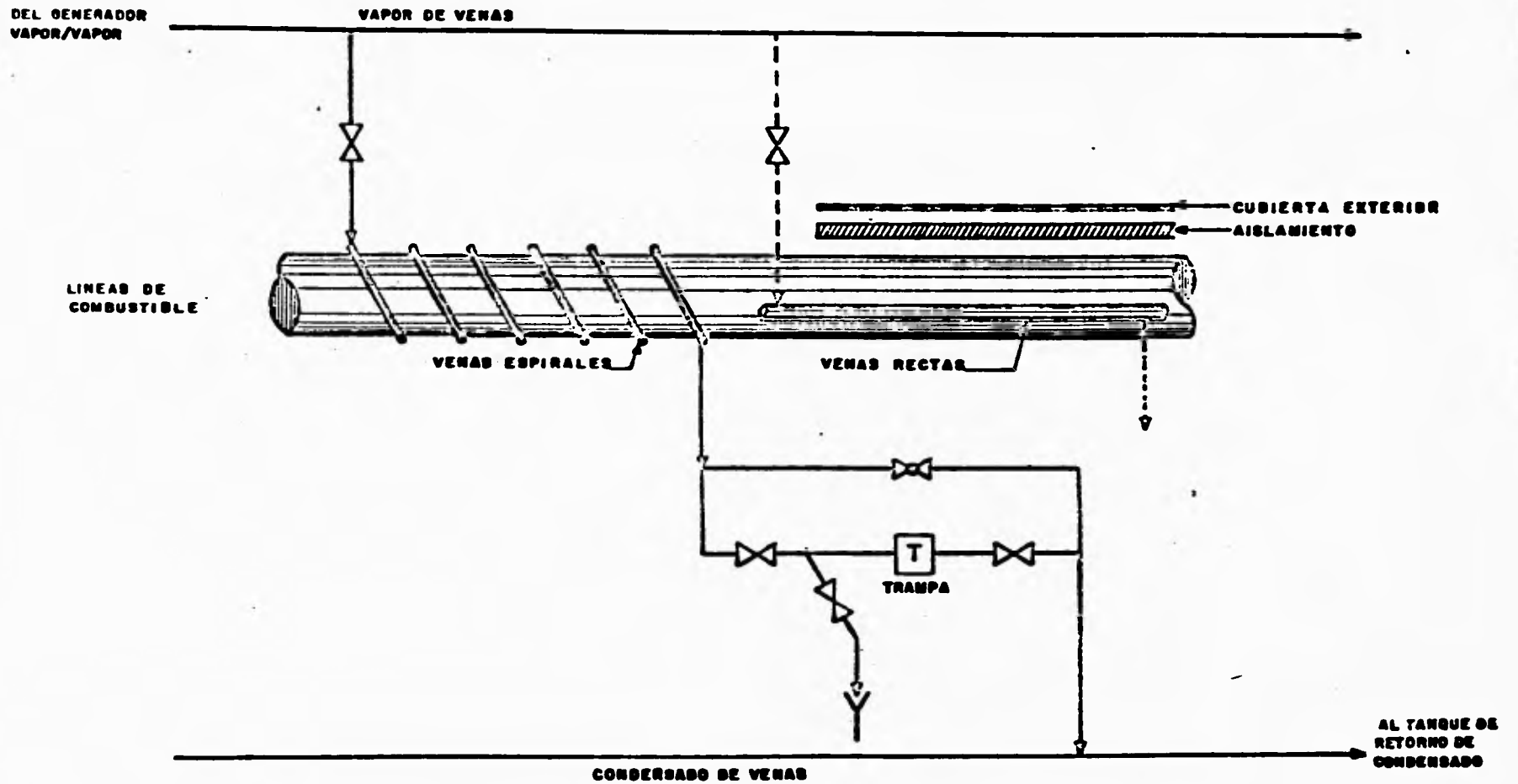


Fig.V. 4.3 ARREGLOS TÍPICOS DE LAS VENAS DE CALENTAMIENTO EN UNA LÍNEA DE ACEITE COMBUSTIBLE.

por gravedad en los vertederos, de donde fluye por los ductos o canales hacia las fosas colectoras.

En los casos de los camiones cisterna, estos se acomodan en la zona de recepción, para descargar el combustible en forma similar a la descarga del ferrocarril. En las centrales que cuentan con una línea de conexión hacia las bombas de transferencia, se conecta una manguera al tanque del camión y se efectúa la descarga mediante la bomba, hacia los tanques de almacenamiento.

El combustible que se acumula en la fosa colectora es sucionado por las bombas de transferencia (la. etapa), pero antes, - pasa por unos calentadores que le producen un aumento de temperatura, para disminuir la viscosidad y que las bombas puedan manejarlo. La alimentación del vapor al calentador se controla - mediante un controlador de temperatura que debe mantener la temperatura de combustible que sale del calentador y va hacia la - bomba, en un valor fijado. El condensado del calentador se recupera automáticamente hacia el tanque de retorno del generador-vapor/vapor.

Los filtros protegen a la bomba y deben ser limpiados rutinariamente; el estado de suciedad se refleja como un aumento en la presión diferencial a través del filtro.

El combustible que sale de las bombas de transferencia es - enviado a los tanques correspondientes mediante la apertura de - las válvulas apropiadas.

La entrada de combustible a los tanques se refleja de la - indicación de nivel en el tanque. Siempre se está llenando un - tanque de almacenamiento, y debe vigilarse para evitar derramamientos.

Cuando la entrega se hace mediante oleoducto, la maniobra - se limita a la apertura de la válvula correspondiente al tanque - que se desea llenar.

Siempre que se recibe combustible, es necesario conocer o - cuantificar los volúmenes recibidos.

Cuando se hace la recepción por ferrocarril o camiones, se conocen los volúmenes de cada tanque móvil, entonces la determinación del volumen total se hace mediante una simple suma y se verifica con los aumentos de nivel que se producen en los tanques de almacenamiento.

Cuando la recepción se hace por oleoducto o buque tanque, no se conocen exactamente, sino en forma aproximada, los volúmenes que se van a recibir en los tanques de almacenamiento. En este caso, la determinación del volumen recibido se hace mediante la diferencia del volumen final de un tanque (al terminar la entrega) menos el volumen inicial del tanque (antes de iniciarse la entrega). Los volúmenes final e inicial se obtienen a partir de una medición directa, con una cinta graduada, de los niveles de combustible en el tanque, se multiplican por un factor según las dimensiones del tanque y se corrige multiplicando por otro factor para referirse a una temperatura estándar.

Es obvio que para cuantificar correctamente el volumen recibido, durante la recepción de combustible (desde que se toma la lectura) no debe extraerse ninguna cantidad de combustible del tanque.

Por esta razón, mientras se recibe combustible en un tanque principal, éste debe permanecer en "licencia" el personal de PEMEX acostumbra colocar candados en las válvulas de salida de los tanques de almacenamiento.

Una vez que el aceite combustible se encuentra en el tanque de alimentación, el agua que pudiera contener en suspensión se deposita en la parte inferior del tanque, de donde puede ser purgada mediante las válvulas dispuestas para este fin. Se acostumbra dejar en reposo el tanque durante cierto tiempo, después de recibir grandes cantidades de combustible, para asegurar la correcta separación del agua. Esta precaución se justifica en mayor medida cuando la entrega la realiza un buque-tanque por el hecho de que éstos, cuando no llevan combustible, se acostumbra llenarlos con agua como lastre para mejorar la estabilidad de la navegación. Los tanques de almacenamiento también se purgan regularmente.

El combustible del tanque de almacenamiento se envía a los tanques de día mediante las bombas de transferencia (llamados de la "2a. etapa" cuando existen otras bombas de transferencia de la 1a. etapa para llenado de los tanques de almacenamiento) pero antes pasan por filtros y un calentador de succión que calienta el combustible a la temperatura requerida por la bomba. La temperatura se establece mediante un controlador que actúa sobre una válvula de vapor para alimentación al calentador. El condensado se recupera mediante trampas al tanque de retorno de condensado del generador vapor/vapor.

El aceite combustible que sale de la bomba se envía a los tanques de consumo diario a través de una válvula que abre cuando el nivel del tanque baja de cierto valor y cierra cuando alcanza un nivel alto.

La línea de recirculación, en la descarga de las bombas de transferencia, permite retornar el flujo del aceite combustible de nuevo a los tanques de almacenamientos. Estas líneas son muy útiles cuando se pone en servicio un tanque porque permiten el establecimiento de un flujo inicial y el calentamiento de las líneas. También se aplican para evitar que la presión de descarga de las bombas aumente arriba de los valores permisibles cuando cierra la válvula de llegada al tanque de día; en este caso, la válvula opera en forma automática y debe abrir cuando detecta el aumento de presión.

Del tanque de día se toma el combustible para ser enviado a los quemadores del generador de vapor.

La obtención de una combustión eficiente en los generadores de vapor que utilizan combustible pesado, requiere en gran parte de que éste sea suministrado a determinados valores de presión, flujo y temperatura. El sistema de combustibles a quemadores tiene la función de proporcionar continuamente un flujo adecuado de combustible bajo las condiciones requeridas (Fig. V.4.4).

El equipo principal que constituye este sistema es el siguiente;

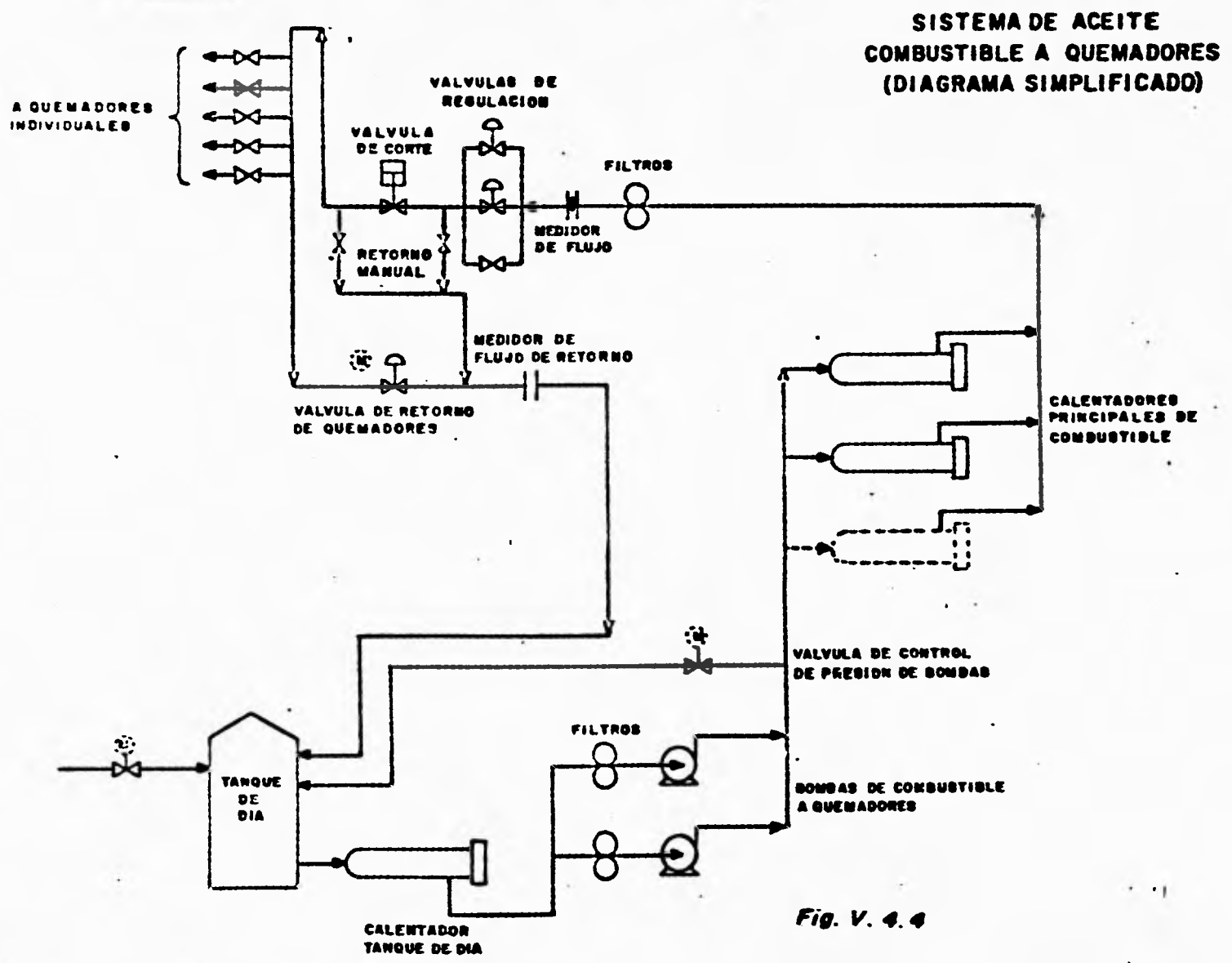


Fig. V. 4. 4

357

1. Tanque de día.
2. Calentadores de succión del tanque de día.
3. Filtros fríos.
4. Bombas de combustible a quemadores.
5. Válvula de control de presión de descarga de bombas.
6. Calentadores principales.
7. Filtros calientes.
8. Medidor de flujo.
9. Válvulas de control.
 - a) De combustible a quemadores.
 - b) De flujo mínimo.
 - c) De derivación.
10. Válvula de corte.
11. Quemadores.
 - a) Cañón quemador.
 - b) Válvulas de vapor y combustible.
12. Válvula de retorno de combustible.
13. Medidor de flujo de retorno.

DESCRIPCION DEL EQUIPO PRINCIPAL.

1. Tanque de día.- Debido a que existen distancias relativamente grandes entre los tanques de almacenamiento de aceite combustible y el punto de consumo (los quemadores del generador de vapor), se acostumbra instalar un tanque, llamado de día, en una zona cercana al generador de vapor. Con el uso de un tanque de día se evita tener grandes longitudes de líneas de retorno hacia los tanques de almacenamiento.

El tanque de día generalmente es un tanque metálico fabricado con placa de acero, de forma cilíndrica con techo cónico.

La capacidad debe ser tal que permita la operación de la unidad que alimenta, durante un mínimo de 12 horas con el 100% de la carga.

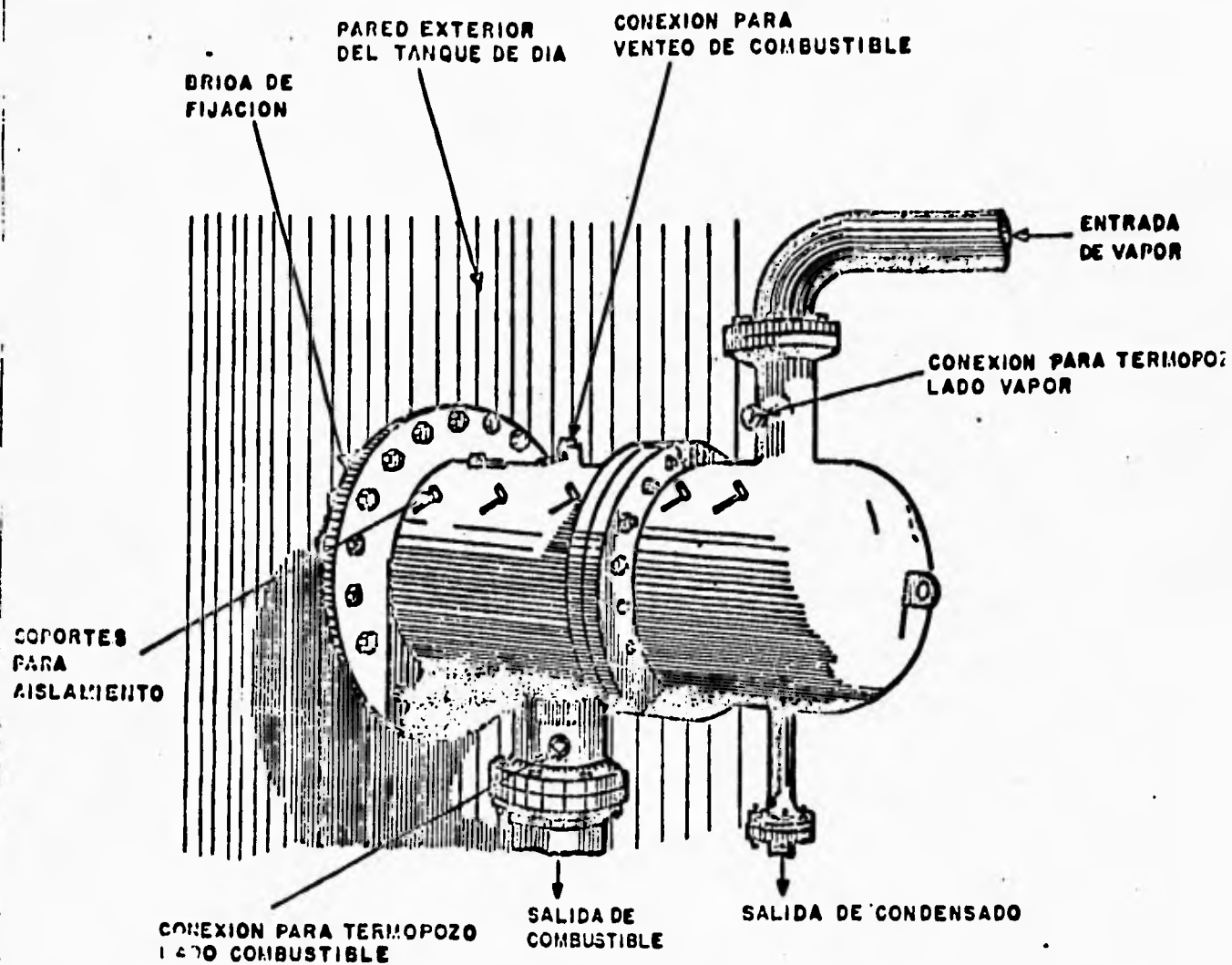
El tanque de día debe contar con las siguientes líneas y -
accesorios:

- Líneas de llenado, dispuestas de tal forma que no produzcan salpicaduras internas, con lo que se evita la formación de - cargas de electricidad estática y la formación de burbujas - de aire.
 - Línea de venteo en el techo del tanque.
 - Línea de rebosadero y línea de drenaje.
 - Línea para purga de agua.
 - Línea (s) para recirculación.
 - Registros para inspección y limpieza.
 - Línea de descarga.
 - Acceso para medición directa del nivel, en el techo del tanque
 - Indicador directo de nivel (tipo flotador).
 - Instrumentación (indicadores, transmisores, interruptores, - alarmas, para nivel y temperatura).
2. Calentadores de Succión del Tanque Diario.- Este calentador se aplica con el objetivo de elevar la temperatura del aceite combustible para que tenga la viscosidad requerida para su manejo en las bombas de combustible a quemadores.

Los calentadores pueden estar instalados en el interior - del tanque o también en el exterior, sobre la línea de succión - a las bombas. Cuando el calentador se localiza en el interior - del tanque, la válvula de bloqueo de combustible se opera desde el techo del tanque mediante un volante y una extensión del - vástago sumergida en el combustible (Fig. V.4.5).

El calentador cuenta con los siguientes accesorios.;

- Válvula aisladore en la entrada y salida de combustible.
- Válvula para derivación del calentador.



CALENTADORES DE SUCCION TANQUE DIA

Fig.V. 4. 5

- Válvula para purga del combustible.
- Válvula para venteo del combustible
- Válvula de alivio de combustible.
- Control para la temperatura del combustible.
- Arreglo para la válvula automática de vapor.
- Instrumentación para presión y temperatura.

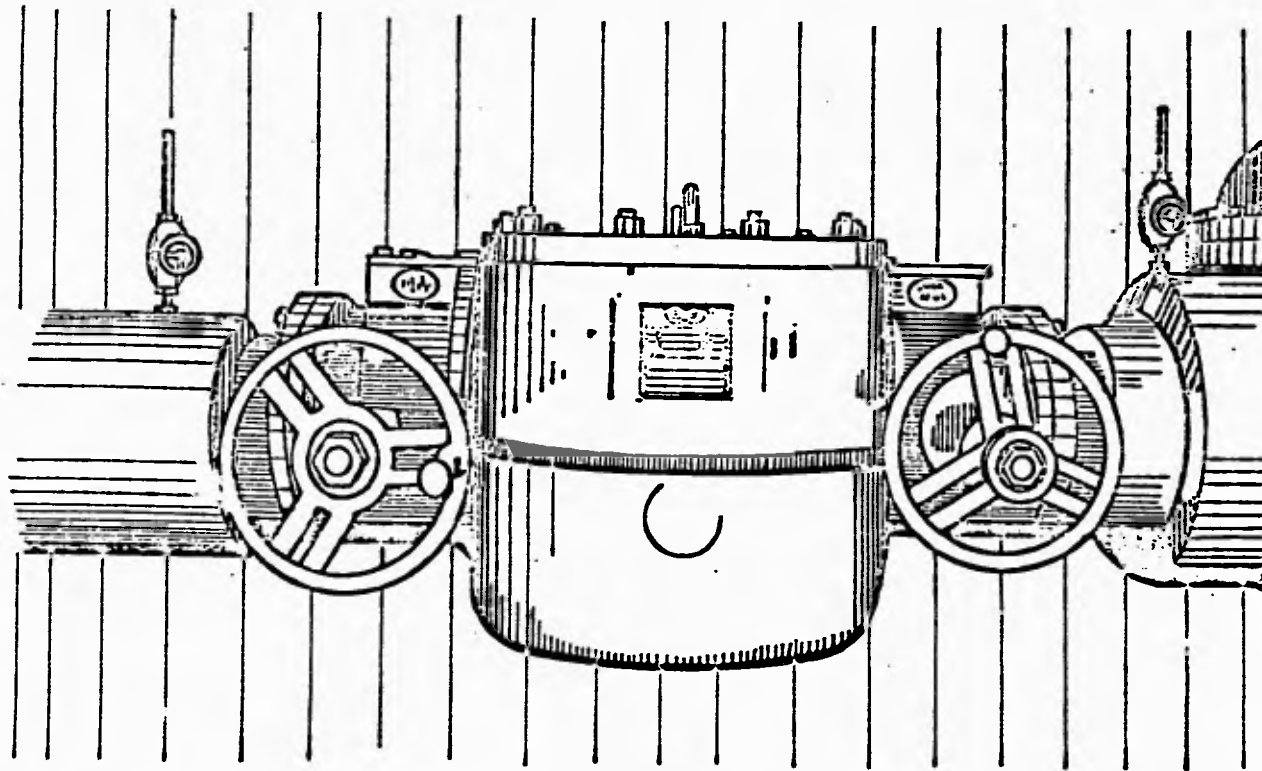
3. Filtros de Succión de Bombas de Combustible.- También conocidos como "Filtros Fríos" . Se instalan para proteger a las bombas de combustible que tienen huelgos muy pequeños contra posibles daños por la entrada de sólidos o materias extrañas contenidas en el combustible, por arrastre desde el tanque diario. - También para evitar ensuciamiento en los calentadores principales de combustible (Fig. V.4.6).

Cada conjunto de filtros es del tipo duplex, es decir, con dos secciones para permitir la operación de una sección mientras la otra sección queda disponible para limpieza.

Cada sección esta formada por un cuerpo cilíndrico con tapa desmontable, en el interior se instala una canasta removible construida de malla de alambre o lámina perforada, el cambio de flujo en las secciones se realiza mediante una válvula de cambio arreglada de tal manera que la palanca de accionamiento sirva para indicar la sección que se encuentra en servicio y al mismo tiempo para evitar que pueda retirarse la tapa de esta sección.

Los filtros de tamaños más grandes tienen válvulas de compuerta deslizante o de globo en la entrada y salida de las secciones. Los volantes de las válvulas se encuentran enlazadas mediante un mecanismo de cadena para asegurar que los puertos de entrada y salida para una misma cámara estén cerrados o abiertos simultáneamente.

El estado de limpieza del filtro se observa mediante un manómetro de presión diferencial entre la entrada y salida del



FILTROS DE SUCCION DE BBA. COMBUSTOLEO QUEMADORES
Fig. V.4.6

filtro, las líneas a los instrumentos llevan un sello químico - para evitar la entrada de combustible al instrumento.

4. Bombas de Combustible a Quemadores.- Tienen la función de proporcionar la presión y el flujo de combustible necesarios para vencer la resistencia del sistema, pasando por los calentadores filtros y la válvula de regulación de presión, para llegar a los quemadores la presión requerida.

Las bombas que mejor se adaptan para manejo del combustible pesado son las bombas rotativas de desplazamiento positivo, del tipo de engranes o de tornillo. Este tipo de bombas, operando a velocidad constante y con una viscosidad uniforme del combustible, proporcionan un flujo (en base volumétrica) relativamente constante independiente del nivel de presión al que descargan, es decir, la presión desarrollada por la bomba es solamente la necesaria para vencer la resistencia del sistema y no es una característica propia de la bomba misma, como en el caso de las bombas centrífugas (Fig. V.4.7).

Las bombas de combustible a quemadores, dada su importancia, requieren de un arreglo para respaldo en caso de mantenimiento o falla. Entre los arreglos más frecuentes están:

Para una unidad:

- Dos bombas del 100%, una para operación normal y otra de reserva.
- Tres bombas del 50%, dos para operación normal y otra de reserva.

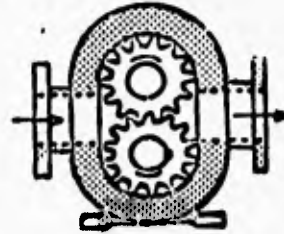
Para un grupo de dos unidades:

- Tres bombas del 100%, una para operación normal de cada unidad y otra de reserva común para ambas.

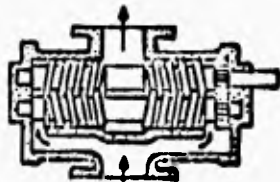
Las bombas de combustible a quemadores cuentan con los siguientes accesorios:



BOMBA DE ASPAS
DESLIZANTES



BOMBA DE ENGRANES
EXTERNOS



BOMBA DE DOS TORNILLOS



BOMBA DE TRES TORNILLOS

BOMBAS ROTATORIAS PARA MANEJO DE ACEITE COMBUSTIBLE

Fig. V. 4. 7

- Válvula de bloqueo en la succión y en la descarga.
- Válvula de no retorno y derivación para llenado.
- Válvula de alivio.
- Indicadores de presión, en succión y descarga, con sello químico.

5. Válvula de control de Presión de descarga de Bombas.- Estas válvulas tienen la función de retornar una porción del flujo de aceite combustible hacia el tanque de día con el objeto de que las bombas operen a una presión constante.

Esta válvula está asociada a un sistema de control que detecta las variaciones de presión producidas al aumentar o disminuir el consumo de combustible en el generador de vapor.

6. Calentadores Principales de Combustible.- Tienen la función de elevar la temperatura del combustible al valor adecuado para su óptima atomización en los quemadores (Fig. V.4.8).

Los calentadores están asociados a un sistema de control de la temperatura que regula la cantidad de vapor que entra al calentador mediante una válvula automática. El punto de ajuste de la temperatura puede establecerse localmente o desde la sala de control mediante una estación de control.

Para permitir la limpieza y mantenimiento de un calentador pueden tenerse los arreglos siguientes:

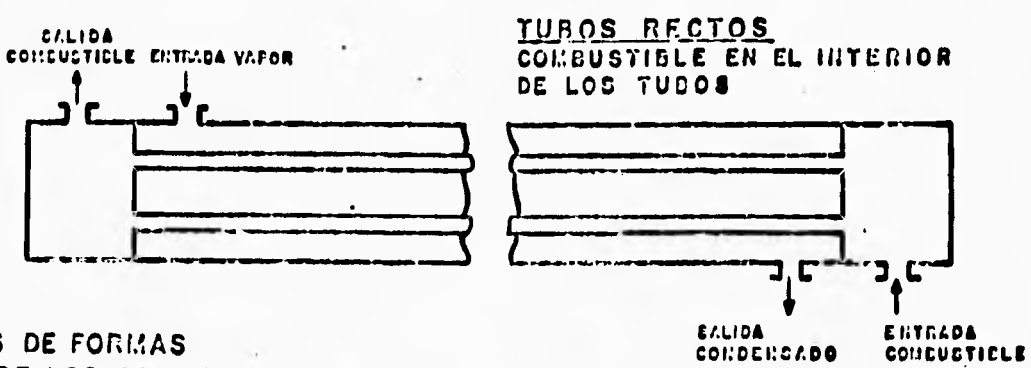
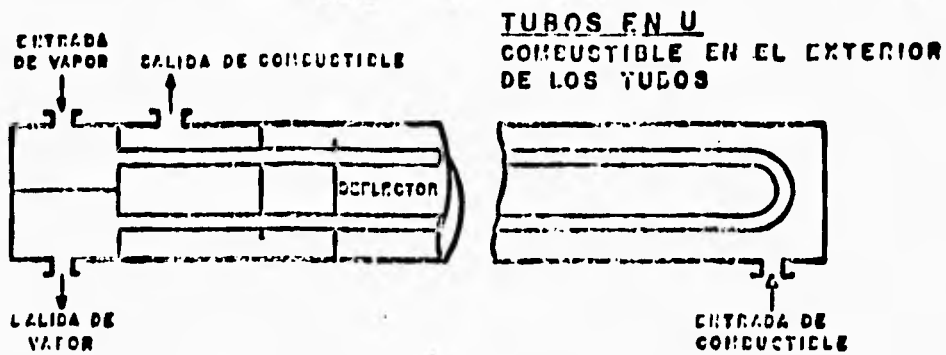
Para una unidad:

- Dos calentadores del 100%, uno para operación normal y otro de reserva.

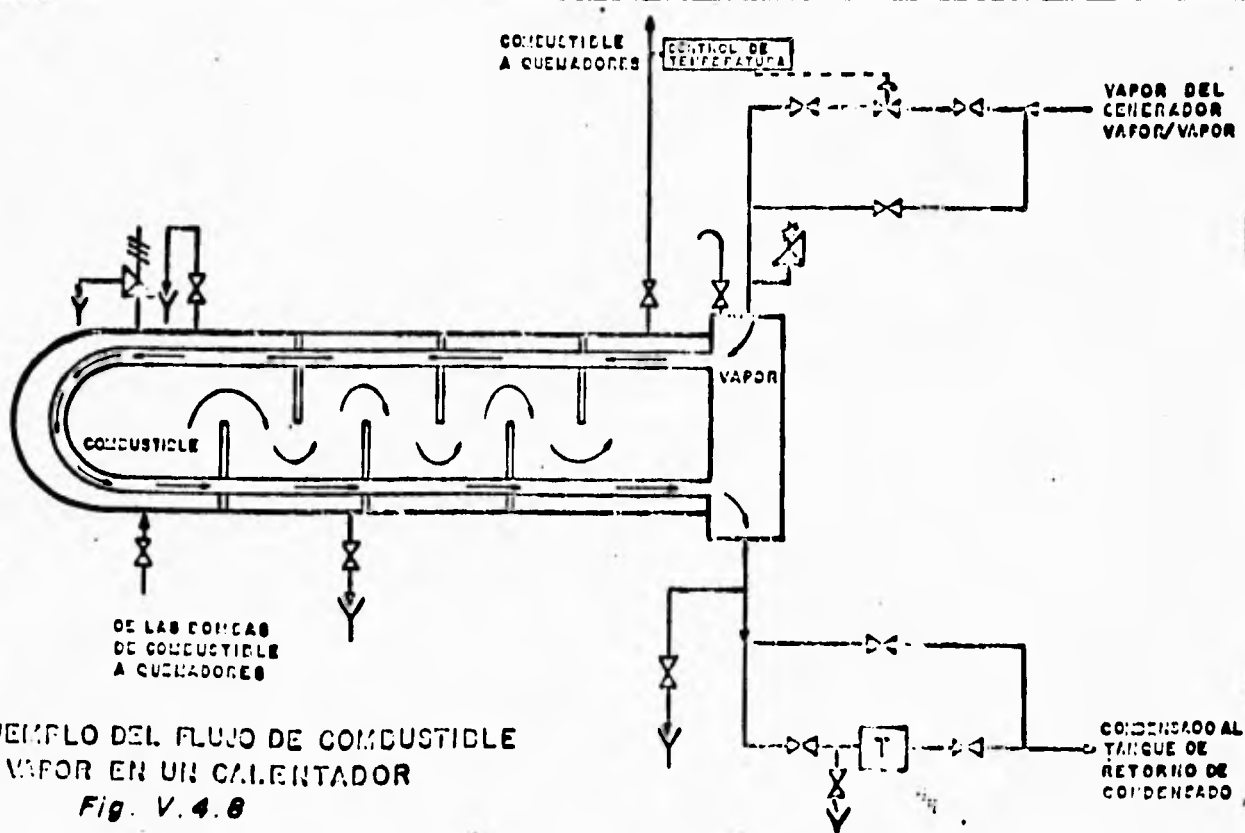
Para un grupo de dos unidades:

- Tres calentadores del 100%, uno para cada unidad y otro de reserva común para ambas unidades.

Los calentadores principales de combustible cuentan con los mismos accesorios que los calentadores de los tanques de día.



EJEMPLOS DE FORMAS
TIPICAS DE LOS CALENTADORES



EJEMPLO DEL FLUJO DE COMBUSTIBLE
Y VAPOR EN UN CALENTADOR
Fig. V. 4. 8

7. **Filtros de Descarga de Combustible.**- También conocidos como -- "Filtros Calientes". Se instalan entre la salida de combustible de los calentadores principales y la válvula de corte del generador de vapor.

Tienen la función de proteger a los quemadores contra obstrucciones (que reducen la calidad de la atomización y afectan las características de la flama) debidas a la presencia de partículas sólidas que se forman en el combustible al pasar por los calentadores.

Estos filtros tienen características similares a los instalados en la succión de las bombas de combustible a quemadores, pero operando a mayor temperatura y con los orificios filtrado de menor tamaño.

8. **Medidor de Flujo de Combustible a Quemadores.**- Se instala en la línea de combustible a quemadores, después de los filtros, para medir el flujo que está pasando. La medición se usa para proporcionar una indicación directa o para transmitir una señal que se aplica en las indicaciones de la sala de control o como señal de entrada a los sistemas de control.

El medidor de flujo cuenta con válvulas aisladoras, válvulas de derivación y válvula de purga para mantenimiento.

Es conveniente tener instalado más de un medidor de flujo para continuar con la medición en caso de mantenimiento o falla de uno de ellos.

El medidor de flujo de combustible a quemadores opera asociado con un medidor de flujo de retorno de tal forma que pueda obtenerse, mediante una diferencia, el flujo que está pasando a través de los quemadores.

9. **Válvulas de Control.**- Tienen la función de regular la presión de aceite combustible en el cabezal de quemadores para mantener el flujo requerido por el sistema de control de combustión en -

función de la presión y el flujo de vapor producido por el generador de vapor.

Generalmente está formado por un arreglo de varias válvulas, las cuales son:

- a) Válvula de control de aceite combustible a quemadores.-
Es una válvula automática operada con aire o con motor que controla la presión del cabezal de combustible a quemadores. Esta válvula abre en función de una señal del sistema de control de combustión.
- b) Válvula de flujo mínimo.- Es una válvula automática operada con aire que mantiene una presión mínima en el cabezal de combustible a quemadores, esta válvula evita que la presión del combustible caiga abajo de un valor determinado, asegurándose un flujo mínimo en el cabezal cuando cierra la válvula de control.
- c) Válvula de derivación.- Es una válvula usada para controlar en forma manual, la presión del combustible. Se usa para substituir a la válvula de control en caso de que ésta no se encuentre disponible.

10. Válvula de Corte de Combustible.- Es una válvula de apertura/cierre y tiene la función de proteger al generador de vapor, bloqueando totalmente el paso de aceite combustible a los quemadores cuando el sistema de control, protección y supervisión de quemadores detecta condiciones de operación no permisibles o peligrosas.

Una vez que ha cerrado ésta válvula, es requisito indispensable que se hayan eliminado las condiciones anormales, también que se cumpla con una serie de permisivios y además se realiza un purgado o barrido de los gases en el hogar, para poder abrir nuevamente ésta válvula de corte.

La válvula de corte debe tener una velocidad de cierre rápida por lo que el accionamiento que más se adapta es el neumá-

tico.

11. Quemadores de Aceite Combustible.- Son el destino final del combustible que va a ser quemado. Los quemadores están formados por un conjunto de equipos que se integran con el fin de introducir aire y combustible dentro del hogar para producir una combustión y liberar calor. La parte de éste conjunto que corresponde al sistema de combustible es el cañon del quemador, pero también se acostumbra llamarlo simplemente "quemador" (Fig. V.4.9).

11.a) Cañon del Quemador.- Tiene la función de atomizar, es decir dispersar el combustible en una nube de finas partículas dentro del hogar. Este efecto hace que se disponga de una mayor superficie de combustible expuesta al aire, haciendo más fácil, la ignición y produciendo una mejor y más rápida combustión.

Existen diversas formas para atomizar el combustible, pero las más usadas son:

- Atomización mecánica.
- Atomización con vapor.

Atomización mecánica.- Se usa la presión propia del combustible como medio atomizador y se aplica en los lugares en donde el agua es escasa y la atomización con vapor no es permisible. Presenta las desventajas de requerir altas presiones y de tener márgenes reducidos para variaciones de la carga.

Atomización con vapor.- Operan bajo el principio de producir una emulsión de combustible-vapor que cuando se libera al hogar se atomiza el combustible debido a la expansión rápida del vapor (Fig. V.4.10)

El cañon del quemador, también llamado simplemente quemador es desmontable y está formado por las siguientes partes:

Culata: Es la pieza del extremo exterior del quemador que sirve para acoplar al quemador un soporte (fijo o móvil) mediante un yugo y un tornillo. El acoplamiento hace que coincidan los-

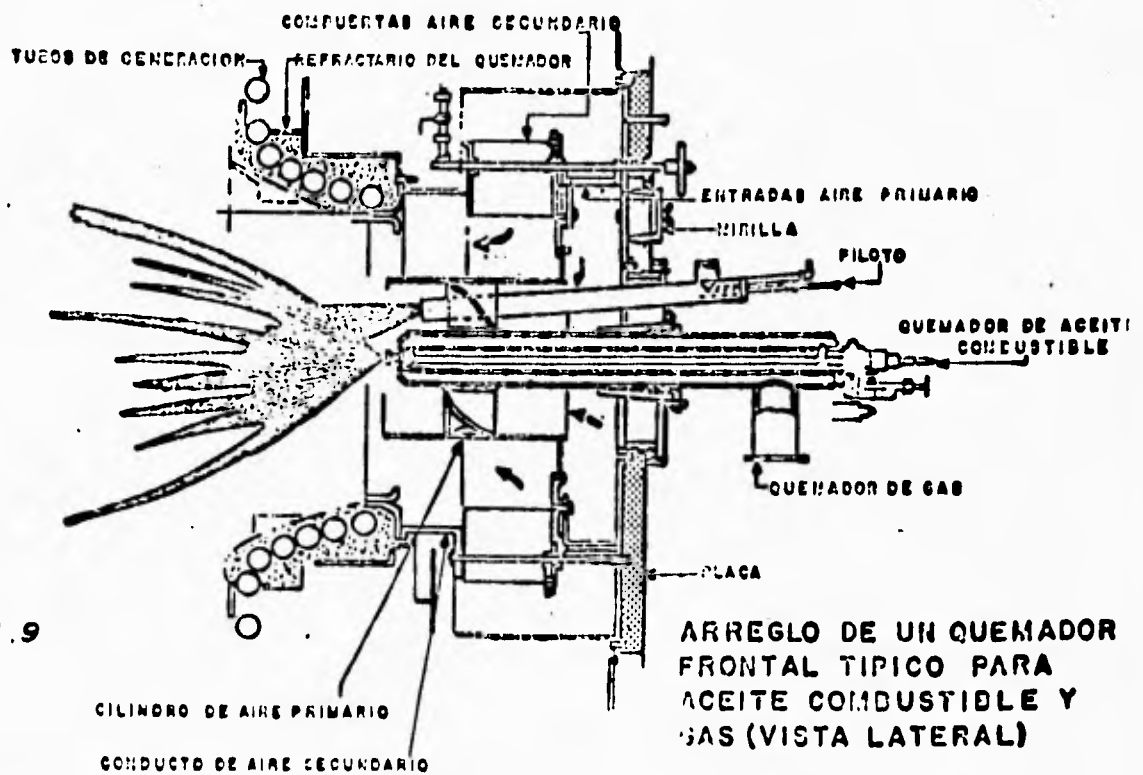
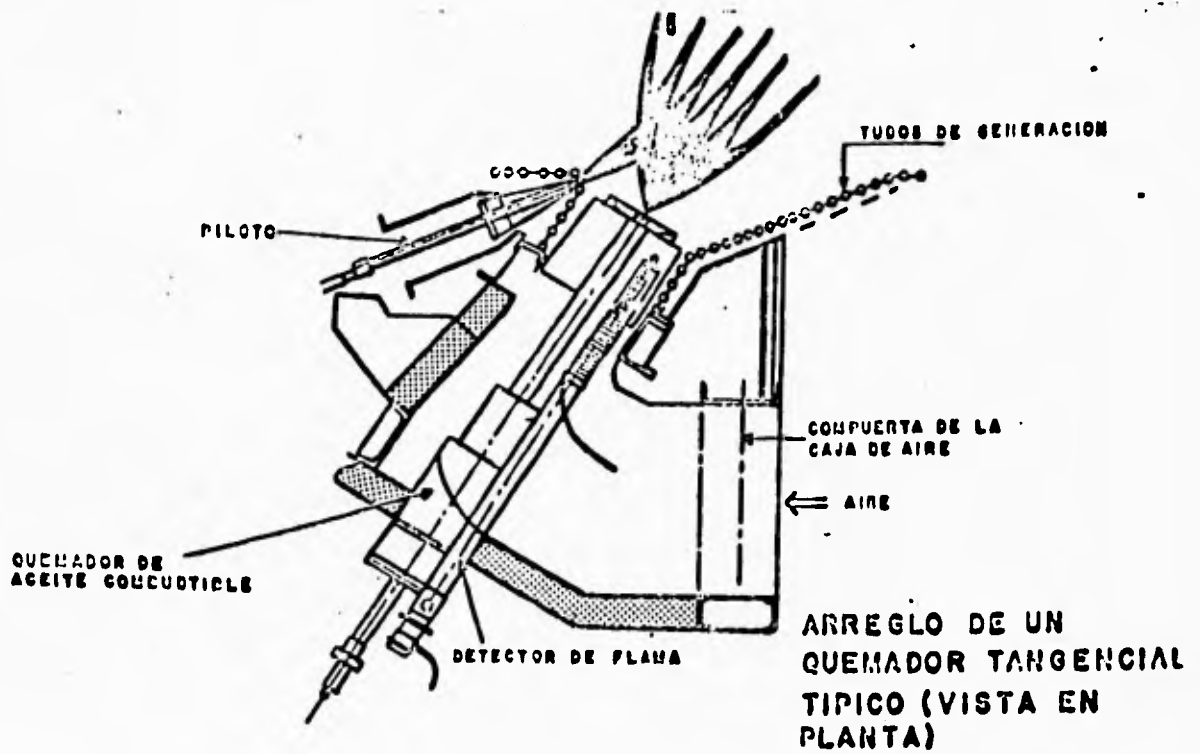


Fig. V. 4.9

conductos internos de vapor y de combustible en soporte y culata, completándose la trayectoria de flujo del quemador. El soporte se alimenta de vapor y combustible mediante mangueras, - flexibles. La culata cuenta con un mango usado por el personal para instalar o retirar el quemador.

Tubos de Combustible y Vapor.- Son tubos concéntricos unidos a la culata, que sirven para conducir el combustible y el vapor hacia la boquilla de atomización. Cuando el quemador se instala en su lugar, estos tubos entran en un orificio de acceso al hogar(Fig. V.4.11).

Boquilla de Atomización.- También conocida como "ficha", es una pieza que lleva los orificios de salida de combustible, se instala en la punta del quemador mediante una tuerca roscada en el tubo del quemador. La boquilla se comunica con el tubo de combustible mediante orificios alineados a lo largo de una circunferencia y en la misma forma con el tubo de vapor. En ésta boquilla se produce la mezcla y la atomización(Fig. V.4.12).

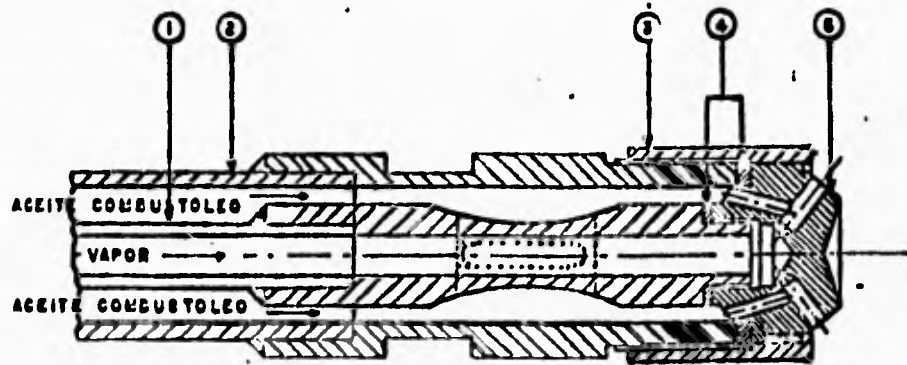
Otros diseños llevan un arreglo formado por dos piezas; un disco con orificios en donde se produce la mezcla, llamada boquilla o ficha de mezcla y otra pieza que es propiamente la boquilla del atomizador.

11.b) Válvulas de Vapor y Combustible al Quemador.

Las válvulas de vapor y combustible generalmente son operadas automáticamente mediante un sistema de control, protección y supervisión de quemadores. Estas válvulas generalmente son operadas con aire y están asociadas a las válvulas solenoide correspondientes.

El arreglo típico en éstas válvulas en las líneas de vapor y combustible incluye(Fig. V.4.13):

- Válvulas aisladoras manuales de combustible y vapor.- Que permiten desinstalar los quemadores, para limpieza o cambio en forma segura. También permiten el mantenimiento de las -



BOQUILLA PARA ATOMIZACION CON VAPOR

Fig. V. 4. 10

No	DESCRIPCION
1	TUBO INTERIOR (VAPOR)
2	TUBO EXTERIOR (COMBUSTIBLE)
3	TUERCA DE FIJACION
4	EMPAQUES
5	BOQUILLA DE ATOMIZACION (PIEZA)

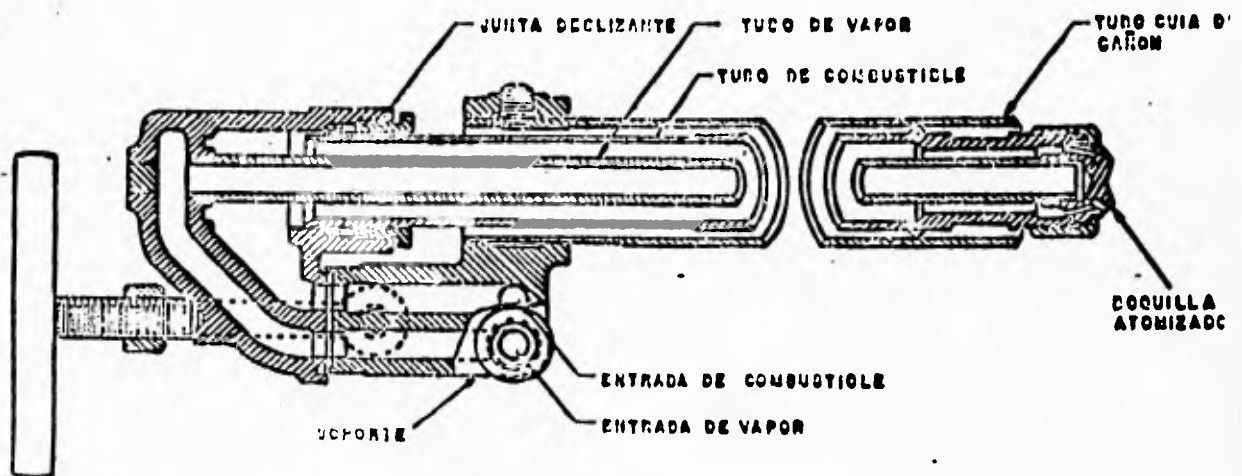
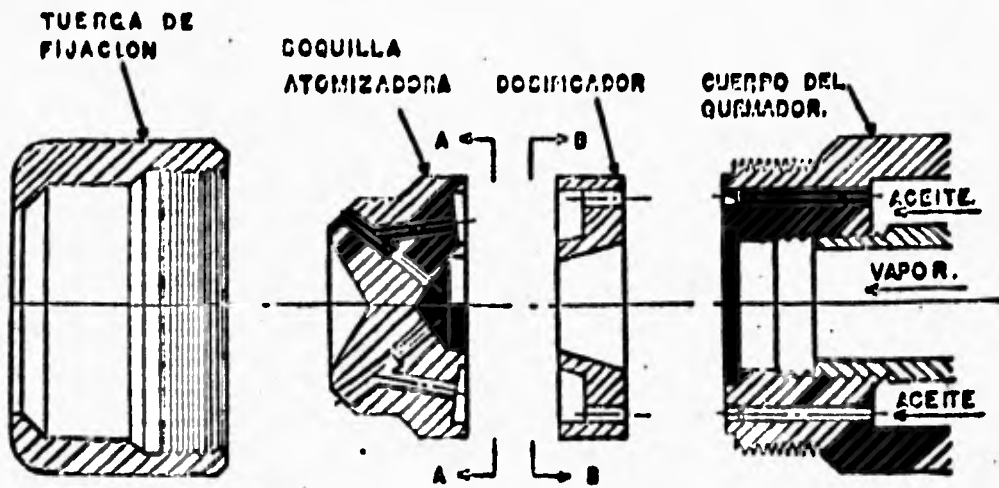


Fig. V. 4. 11 MONTAJE DEL CAÑON DEL QUEMADOR

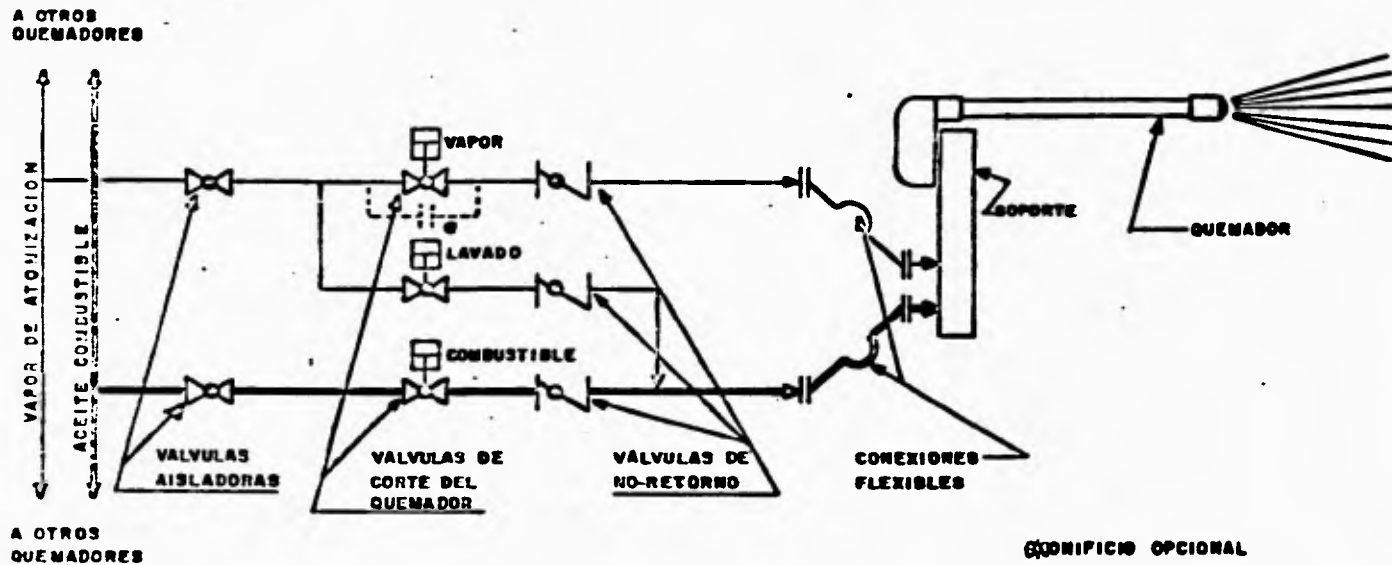


SECCION A-A



SECCION B-B

DOQUILLA (DE DOS PIEZAS) PARA ATOMIZACION CON VAPOR
 Fig. V.4.12



ARREGLO TIPICO DE LA ALIMENTACION DE ACEITE COMBUSTIBLE

Y VAPOR A UN QUEMADOR

Fig. V.4. 13

otras válvulas o del quemador.

- Válvulas de corte de vapor y combustible.- Abren o cierran en una secuencia establecida por el sistema de control de quemadores.
- Válvula de lavado.- Que abre para lavar la línea y los conductos del quemador cuando cierra la válvula de combustible.
- Válvula de no retorno.- Para evitar la entrada de combustible a la línea de vapor o viceversa.

12. Válvula de Retorno de Cabezal de Aceite Combustible.- Tiene la función de retornar una porción del combustible que llega a los quemadores. Es una válvula accionada por aire o por motor instalada en una línea de retorno que comunica al cabezal de quemadores con el tanque diario.

Esta válvula permite recircular inicialmente el combustible por el cabezal de quemadores, antes de encenderlos, con el fin de elevar la temperatura del combustible en el cabezal. También debe operar abierta cuando se tienen bajas cargas.

13. Medidor de Flujo de Retorno.- Tiene la función de medir el flujo de retorno de aceite combustible que circula con destino al tanque de día. Se aplican los mismos conceptos enunciados en el punto No. 9 correspondiente al Medidor de Flujo de combustible a quemadores.

DESCRIPCION OPERATIVA.

El aceite combustible se encuentra inicialmente en el tanque de día, de donde sale y pasa por el calentador del tanque de día, en donde se eleva la temperatura, reduciendo la viscosidad al valor requerido para su manejo. El valor de la temperatura se establece mediante un controlador local o mediante

una estación de control en la sala de control. El vapor que proviene del generador vapor/vapor calienta al combustible produciendo condensado que se recupera hacia el tanque de retorno de condensado.

El combustible pasa por los filtros, en donde se quedan los sólidos y materias extrañas y llega a las bombas de combustible a quemadores, en donde se eleva la presión hasta un valor controlado por una válvula automática. La presión se controla haciendo recircular hacia el tanque de día, una parte de flujo de combustible. Cuando no se tiene flujo de combustible hacia los quemadores porque está cerrada la válvula de corte, esta válvula de control de presión maneja todo el flujo y entonces puede calentarse el combustible dentro del tanque de día hasta un valor deseado.

El combustible de alta presión pasa por los calentadores principales en donde aumenta la temperatura hasta el valor requerido para la atomización. El vapor proviene del generador vapor-vapor, pasa por una válvula de control, por el calentador y finalmente sale como condensado que se recupera. La temperatura del combustible se establece mediante una estación selectora desde la sala de control.

El combustible caliente pasa por otros filtros, por uno o varios medidores de flujo y llega a un grupo de válvulas de control. El combustible pasa por la válvula de control principal o por la válvula de flujo mínimo y llega a la válvula de corte.

Cuando la válvula de corte está cerrada, se mantiene un pequeño flujo mediante una línea de retorno y una válvula de operación manual.

Después de que se ha restablecido el disparo del generador de vapor y se han cumplido con los permisos necesarios, puede abrirse la válvula de corte, y entonces el combustible pasa al cabezal de quemadores.

El combustible que llega al cabezal está caliente, pero el que se encuentra en el cabezal está frío, por lo que es necesario una recirculación para que el caliente desplace al frío y entonces se

una estación de control en la sala de control. El vapor que proviene del generador vapor/vapor calienta al combustible produciendo condensado que se recupera hacia el tanque de retorno de condensado.

El combustible pasa por los filtros, en donde se quedan los sólidos y materias extrañas y llega a las bombas de combustible a quemadores, en donde se eleva la presión hasta un valor controlado por una válvula automática. La presión se controla haciendo recircular hacia el tanque de día, una parte de flujo de combustible. Cuando no se tiene flujo de combustible hacia los quemadores porque está cerrada la válvula de corte, esta válvula de control de presión maneja todo el flujo y entonces puede calentarse el combustible dentro del tanque de día hasta un valor deseado.

El combustible de alta presión pasa por los calentadores principales en donde aumenta la temperatura hasta el valor requerido para la atomización. El vapor proviene del generador vapor-vapor, pasa por una válvula de control, por el calentador y finalmente sale como condensado que se recupera. La temperatura del combustible se establece mediante una estación selectora desde la sala de control.

El combustible caliente pasa por otros filtros, por uno o varios medidores de flujo y llega a un grupo de válvulas de control. El combustible pasa por la válvula de control principal o por la válvula de flujo mínimo y llega a la válvula de corte.

Cuando la válvula de corte está cerrada, se mantiene un pequeño flujo mediante una línea de retorno y una válvula de operación manual.

Después de que se ha restablecido el disparo del generador de vapor y se han cumplido con los permisos necesarios, puede abrirse la válvula de corte, y entonces el combustible pasa al cabezal de quemadores.

El combustible que llega al cabezal está caliente, pero el que se encuentra en el cabezal está frío, por lo que es necesario una recirculación para que el caliente desplace al frío y entonces se

tengan las condiciones de temperatura requerida para la atomización. El combustible retorna hacia el tanque diario a través de la válvula de retorno, pasa por los medidores de flujo de retorno y llega nuevamente al tanque de día.

Cuando se enciende un quemador, primero debe abrir la válvula de vapor para asegurar una buena atomización, después abre la válvula de combustible. El vapor y el combustible llegan al soporte mediante conexiones flexibles y entran al cañón del quemador, pasan por el cuerpo del quemador y llegan a la boquilla o ficha, en donde se mezclan y atomizan al interior del hogar para participar en la combustión.

El apagado del quemador se produce cerrando la válvula de combustible y la válvula de vapor.

Cuando se apaga un quemador, no es conveniente que se quede combustible en la línea después de la válvula del quemador, ni en las mangueras, ni en el cañón del quemador. Para evitarlo abre la válvula de lavado que comunica vapor a la línea de combustible produciendo una acción de limpieza. Como el combustible arrastrado entra al hogar, es requisito que se encuentre encendido el piloto para asegurar la combustión.

VI.
VI. I

SISTEMAS DE LA TURBINA DE VAPOR
SISTEMA DE LA TURBINA Y VAPOR PRINCIPAL

La turbina es el elemento motriz que transmite el momento de giro al generador, y es del tipo "Tandem-Compound" * de doble flujo en el escape de la turbina de Baja Presión con condensación y con recalentamiento (Fig. VI.1.1).

La turbina representa uno de los tres componentes más importantes de una unidad (los otros dos son generador de vapor y generador eléctrico). Además, cabe señalar, que la turbina es un equipo que está sometido a condiciones más severas de operación que ningún otro. Por esta razón se le dá mayor atención a la operación de la turbina en sus distintas condiciones de trabajo.

Por todo esto, el propósito de este Instructivo es apoyar al operador para que se familiarice con los componentes y funcionamiento de la turbina, con el fin de que tenga una operación eficiente, confiable y segura.

* Tandem significa que las turbinas están en un eje, que son co-lineales y que tienen acoplado un generador común.

Compound significa que está compuesta de dos o más carcazas.

CARACTERISTICAS.

DATOS GENERALES

Capacidad -----	300,000 KW.
Velocidad -----	3,600 R.P.M.
Dirección de rotacion (parado de frente al gobernador) -----	En sentido de las manecillas del reloj.

Condiciones del Vapor

Presión de entrada del vapor principal.	16.4 MPa.
---	-----------

379

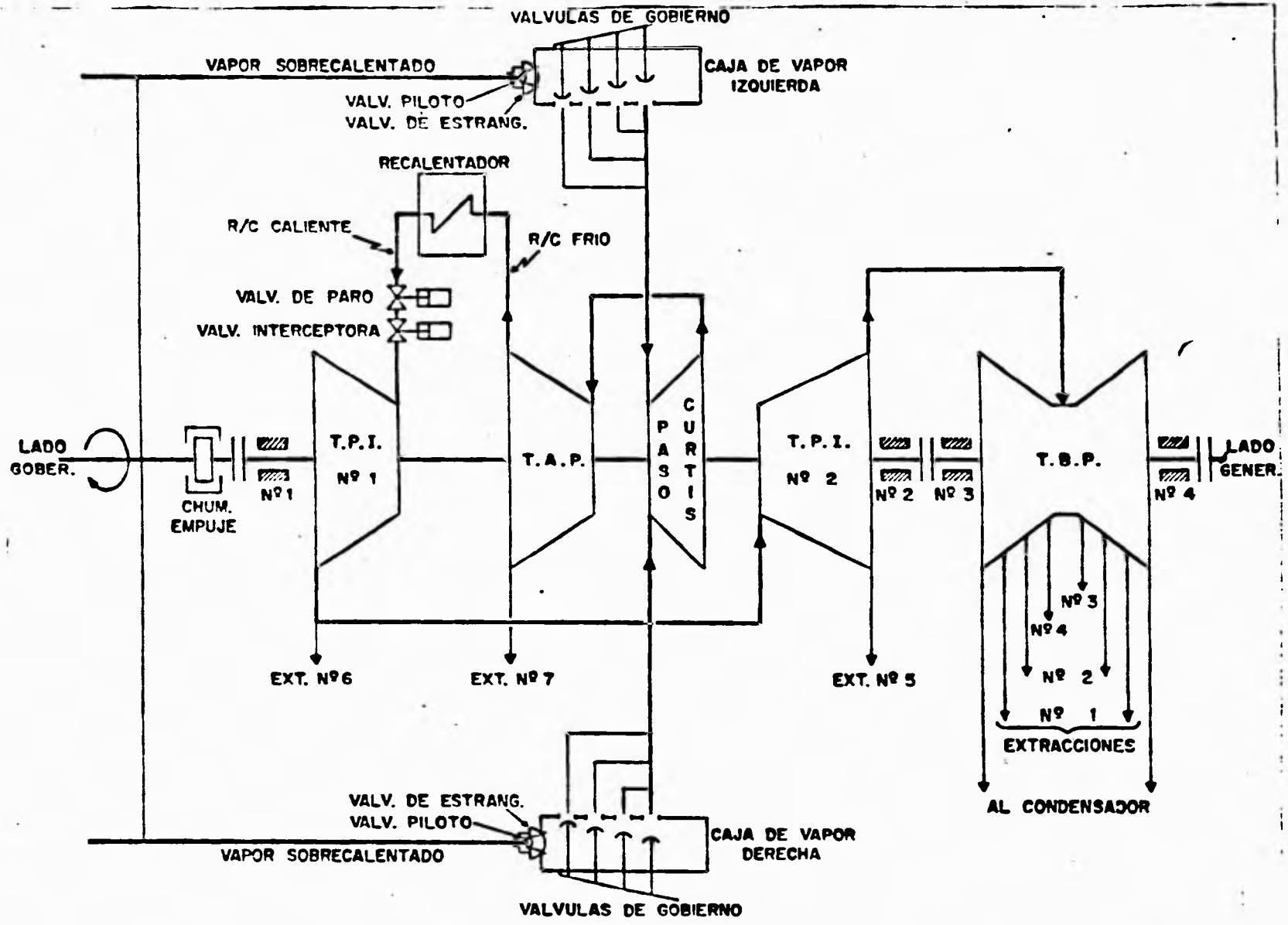


FIG. VI.1.1 DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE TURBINA

Condiciones del Vapor:

Temperatura de entrada de
vapor principal - - - - - 538° C
Temperatura del vapor reca-
lentado caliente - - - - - 538° C
Presión de escape de turbina baja
presión (vacío en condensador) - - - 69 KPa.
Número de extracciones - - - - - 7

Empaletado de las turbinas :

Turbina de Alta Presión - - - - - 1 Rueda Curtis (de 2 pasos)
10 pasos de álabes de reacción
Turbina de Presión Interme-
dia No. 1- - - - - 4 pasos de álabes de reacción
(lado gobernador)
Turbina de Presión Interme-
dia No. 2 - - - - - 4 pasos de álabes de reacción
(lado generador)
Turbinas de Baja Presión - - - - - 6 pasos de álabes de reacción
en cada turbina.

Dimensiones del último paso de la
turbina de baja presión:

Altura del álabe - - - - - 724 mm.
Diámetro promedio - - - - - 2,172 mm.

DESCRIPCION DEL EQUIPO

VALVULA DE ESTRANGULAMIENTO.

Esta es un tipo de válvula de operación de doble tapón, que consiste en dos válvulas de asiento sencilla, una colocada dentro de la otra. A la válvula interior se le denomina válvula piloto y a la exterior válvula de estrangulamiento, las cuales están empotradas en la entrada de la caja de vapor, conformado el cuerpo de la misma caja (Fig. VI.1.2).

Cuando las válvulas se encuentran en la posición de cerrado, la presión de entrada de vapor se combina con la carga de los resortes de compresión que actúan sobre el vástago de las válvulas, para mantener a éstas firmemente cerradas sobre sus asientos.

Cuando el vástago se mueve para abrir las válvulas, primero abre la válvula piloto y hasta que ésta se encuentra completamente abierta comienza a abrir la válvula de estrangulamiento "arrastrada por la - válvula piloto(Fig. VI.1.3).

Cada válvula de estrangulamiento cuenta con 2 líneas de drenes de sellos de vapor, una que drena los sellos de vapor de alta presión hacia las líneas de vapor recalentado frío, en operación normal o - arriba del 20% de carga, y en el arranque al tanque de purgas; y la otra que drena los sellos de vapor de baja presión hacia el condensador de vapor, de sellos. Estas fugas o sellos de vapor tienen la finalidad de autosellar el vástago de las válvulas (Fig. VI.1.4). Estas válvulas (la piloto y la de estrangulamiento) son accionadas - por un servomotor hidráulico, en el que intervienen 2 tipos de aceite para su regulación, que son : aceite de control y aceite de alta presión. El aceite de control cuya presión se puede regular desde la sala de control, determina la posición de las válvulas; y el aceite de alta presión es el fluido motriz de dichas válvulas.

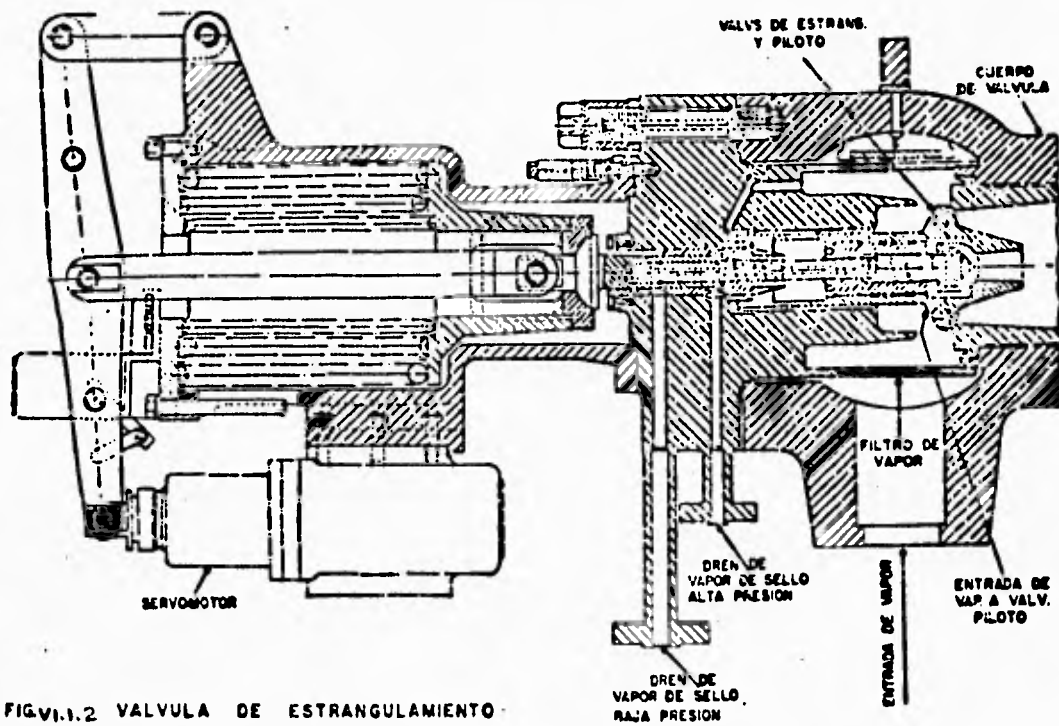


FIG. VI.1.2 VALVULA DE ESTRANGULAMIENTO

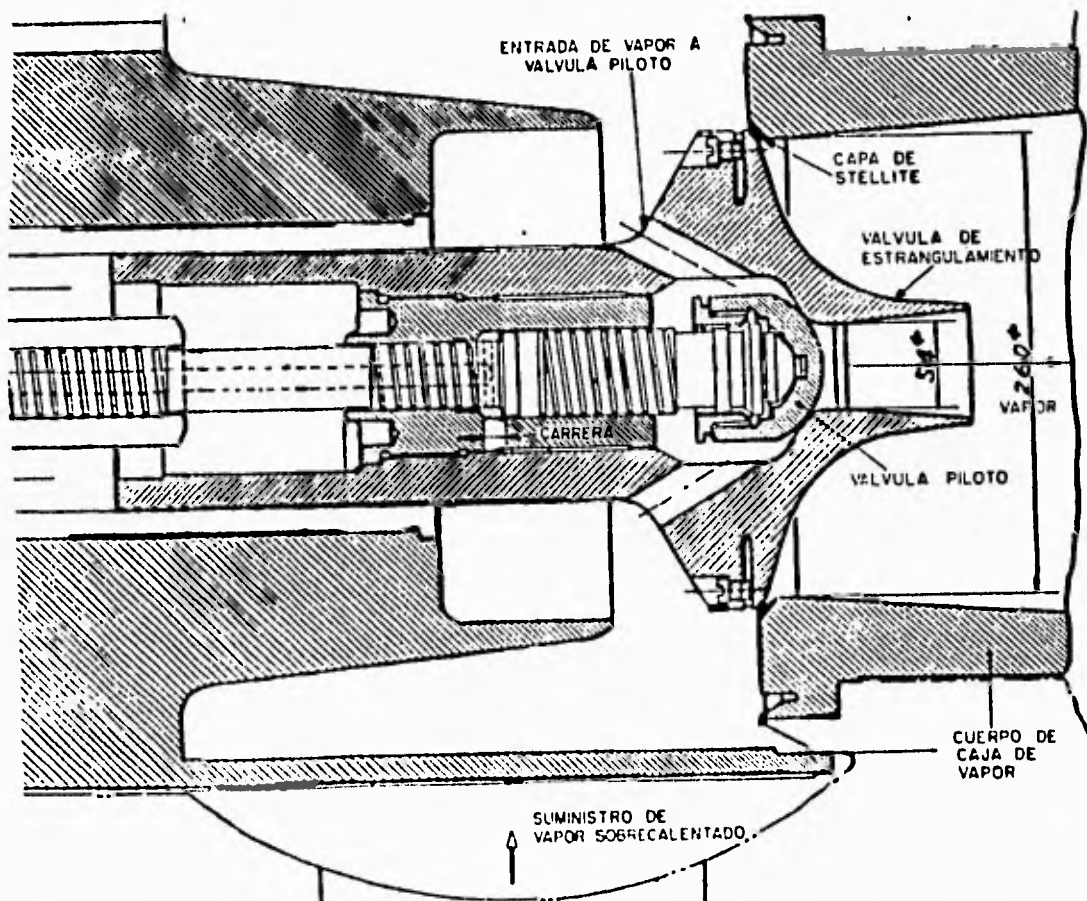


FIG. VI.1.3 DETALLE DE VALVULAS DE ESTRANGULAMIENTO Y PILOTO

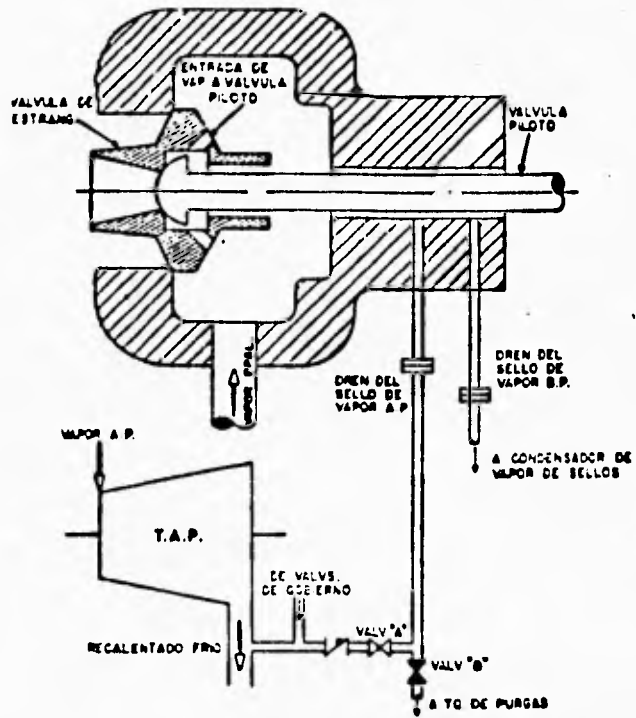


FIG. 1.14 DRENES DE SELLOS DE VAPOR DE VALVS. DE ESTRANGULAMIENTO.

Cada válvula de estrangulamiento cuenta con un interruptor que se encuentra acoplado al vástago de la válvula, de tal forma que al moverse hace girar el eje del interruptor, el cual abre o cierra sus contactos (dependiendo del movimiento del vástago), los cuales mandan una señal a la sala de control donde las lámparas que se encuentran en la parte superior de su interruptor de prueba dan una indicación visible de la válvula que se encuentra abierta (lámpara roja encendida), cerrada (lámpara verde encendida) o en alguna posición intermedia (lámparas roja y verde apagadas).

Además en la sala de control se tienen 2 manómetros que indican la presión de aceite de control de cada válvula, los cuales dan una relación de posición de válvula ya que, a 137.88 KPa las válvulas empiezan a abrir, y a 310.23 KPa, las válvulas están totalmente abiertas.

CAJAS DE VAPOR Y VALVULAS DE GOBIERNO.

Son dos cajas de vapor idénticas en su construcción, las cuales distribuyen, con la apertura de las válvulas de gobierno, el vapor suministrado a la turbina de alta presión. El cuerpo de estas cajas se construye de acero forjado y se localiza a cada costado de la turbina de alta presión. En cada una de estas cajas de vapor, se encuentra localizada la entrada de vapor sobrecalentado a través de la válvula de estrangulamiento, la cual está dispuesta en forma horizontal, y enseguida de ésta se encuentran vertical y colinealmente las válvulas de gobierno (Fig. VI.1.5).

Cada caja de vapor cuenta con 4 válvulas de gobierno de tapón simple, ordenadas linealmente. El vástago de cada una de estas válvulas se encuentra montado a una palanca de operación, la cual, en uno de sus extremos se encuentra apoyada en un soporte fijo, y en el otro esta acoplada al vástago del pistón del servomotor de operación de manera que el movimiento del pistón hacia arriba eleva la palanca de operación, la cual a su vez "jala" los vástagos de las válvulas

325

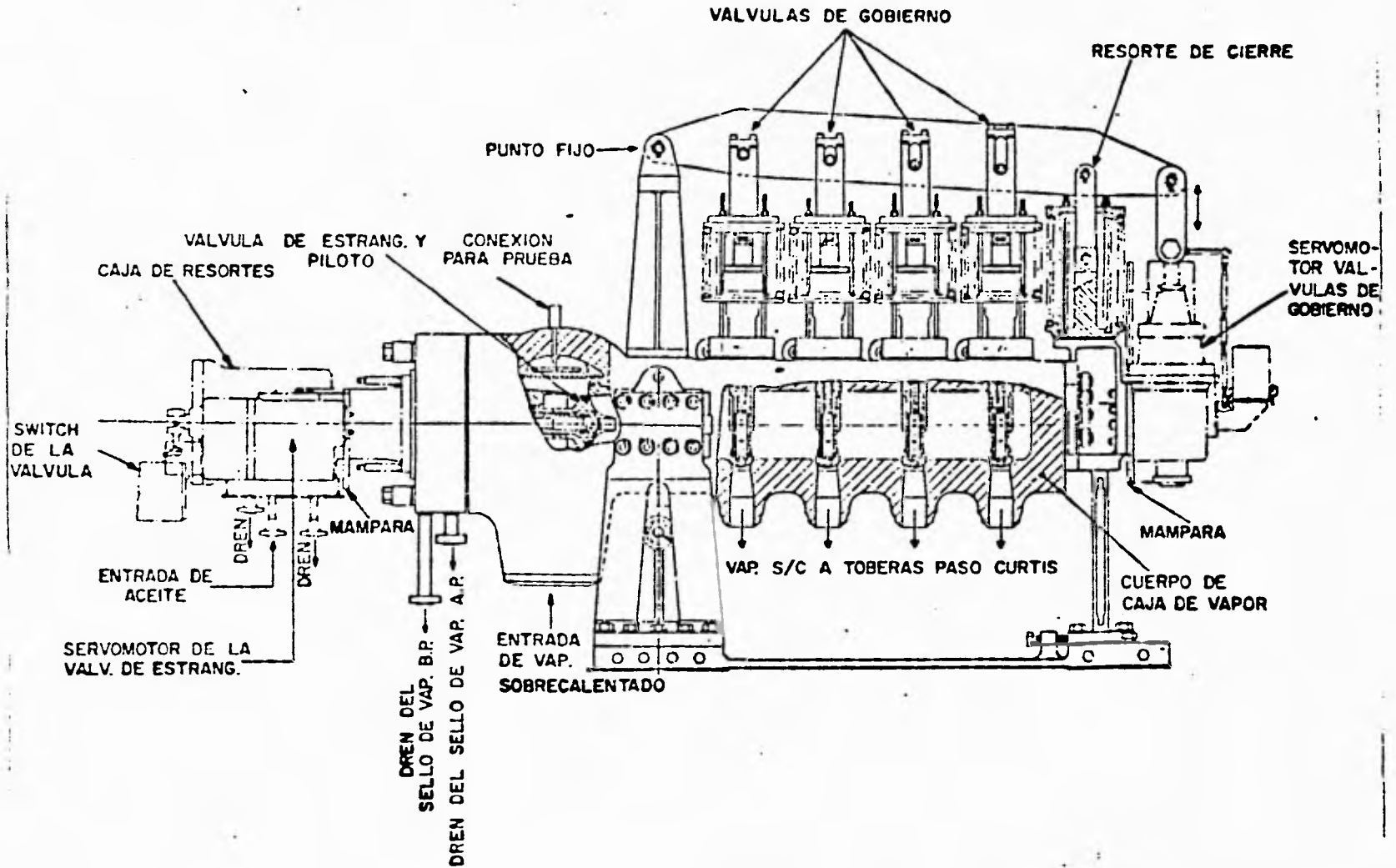


FIG. VI.1.5

VALVULAS DE CONTROL Y CAJA DE VAPOR.

de gobierno, venciendo la fuerza de los resortes, abriendo primero a las que se encuentran más próximas al soporte fijo y por último, las que se encuentran más cercanas al servomotor (Fig. VI.1.6).

Cuando la palanca de operación es levantada del servomotor, los pernos de la misma se van acercando hasta hacer contacto con la parte más alta de la ranura de los vástagos correspondientes de cada una de las válvulas, y cuando se haga contacto empezarán a abrir las válvulas de gobierno (primero abrirán un par de la No. 1 y No. 2, después, las restantes, una tras otra) a un porcentaje de apertura tal, que corresponda a la señal de apertura que transmitió el aceite de control al servomotor de la válvula.

Las válvulas de gobierno alojadas en la caja de vapor en el lado derecho, están numeradas de la siguiente manera: Nos. 1,3,5, y 7. En el lado izquierdo son: 2, 4,6, y 8 como lo muestra la (Fig. VI.1.7).

La secuencia de apertura de estas válvulas se efectúa primero con la acción simultánea de las válvulas Nos. 1 y 2 (únicas que abren en par), con una cobertura del 25% del arco total. Posteriormente abrirán, individual y consecutivamente el resto de las válvulas gobernadoras, de la siguiente forma: Nos. 3, 4, 5, 6, 7 y 8, obteniendo el arco pleno con la apertura de todas las válvulas.

El movimiento hacia abajo del pistón del servomotor ocasiona, el cierre de las válvulas en sentido inverso al antes mencionado.

Cada vástago de las válvulas de gobierno, cuenta con dos líneas de drenes, una que drena los sellos de vapor de alta presión hacia las tuberías de vapor recalentado frío en operación normal, y en arranque a tanque de purgas; y la otra que drena los sellos de vapor de baja presión hacia el condensador de vapor de sellos. La disposición de estas líneas es en forma similar a los sellos de los vástagos de las válvulas de estrangulamiento.

Las válvulas de gobierno son accionadas por un servomotor hidráulico, en el que intervienen dos tipos de aceite para su regulación, que son: aceite de control y aceite de alta presión. El acei-

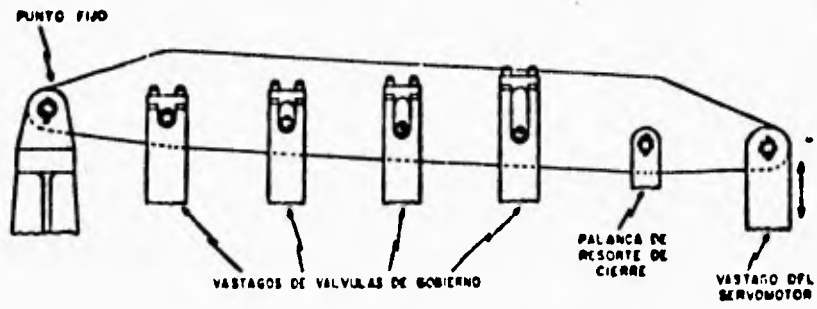


FIG. VII.1.6 DETALLE DE ORDEN DE APERTURA DE VALVULAS DE GOBIERNO

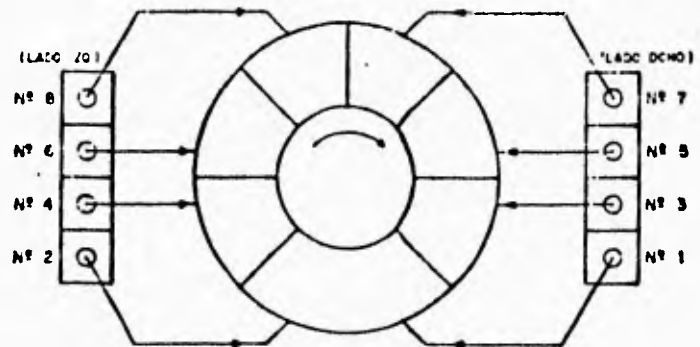


FIG. VII.1.7 RELACION DE VALVULAS DE GOBIERNO Y CAMARA DE TORRES.

te de control cuya presión se puede regular desde la sala de control, determina la posición de las válvulas, y el aceite de alta presión - es el fluido motriz que desplaza el servomotor de las válvulas de - .
gobierno.

CAJA DE TOBERAS Y PASO CURTIS.

El paso curtis se encuentra unido a las cajas de vapor a través de 8 uniones deslizantes que permiten absorber las dilataciones y - contracciones térmicas, evitando con ésto que se produzcan esfuerzos en el metal. En el extremo de cada una de las 8 tuberías de unión - está una tobera dirigida hacia la primera rueda de álabes móviles, - para entregar la energía cinética del vapor (Fig. VI.1.8).

El vapor sobrecalentado con una presión $P_0 = 16.4$ MPa (sin pérdidas de presión) llega a la tobera del paso curtis donde su energía potencial se transforma en energía cinética (Fig. VI.1.9). saliendo con una velocidad C_1 de la tobera, con estas características, el vapor entra al primer paso de álabes móviles en donde la - energía cinética (velocidad) se abate convirtiéndose en trabajo mecánico, además, el flujo de vapor cambia su dirección saliendo del - primer paso de los álabes móviles con su velocidad C_2 . Enseguida el vapor pasa a los álabes fijos o directrices para solamente cambiar su dirección. Este flujo de vapor entra en una dirección que corresponde al perfil de los álabes móviles del segundo paso.

El flujo de vapor se dirige al segundo paso de álabes móviles - con una velocidad C_1 (ver gráfica de la (Fig. VI.1.9), para convertirse en trabajo mecánico (abatiéndose la energía cinética) . Al salir el vapor de los álabes móviles del segundo paso queda con una velocidad C_2 menor y de ahí será conducido a la turbina de alta presión.

Las toberas están diseñadas de tal modo que al pasar el vapor por las toberas éste se expande hasta la presión $P_1 = 10.5$ MPa consiguiente al salir de la tobera el vapor ya no sufre expansión pos-

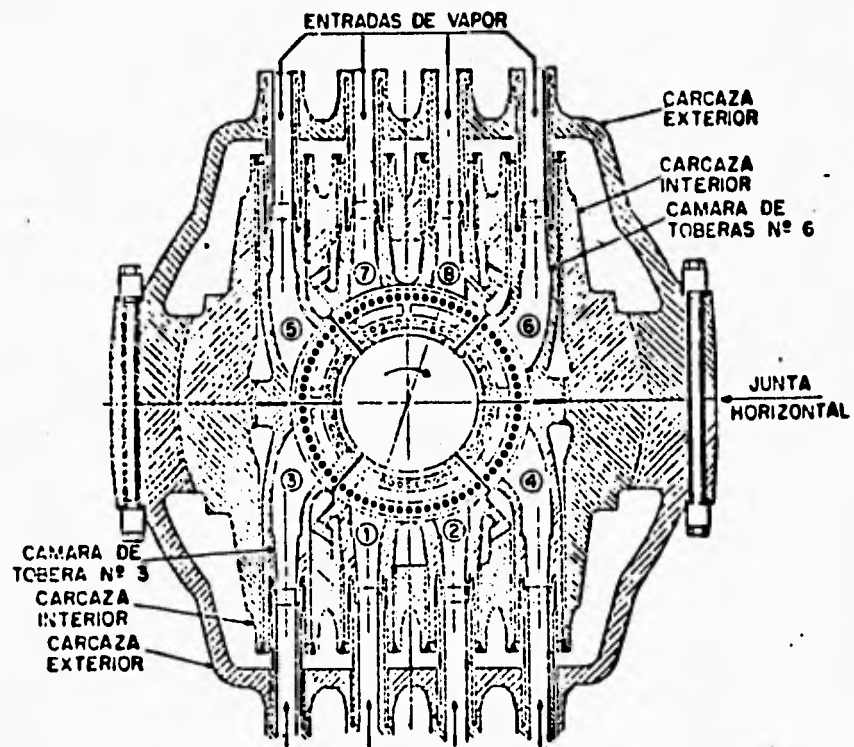


FIG. VI.1.8 CORTE TRANSVERSAL DE CÁMARAS DE TOBERAS DEL PASO CUFÍN.

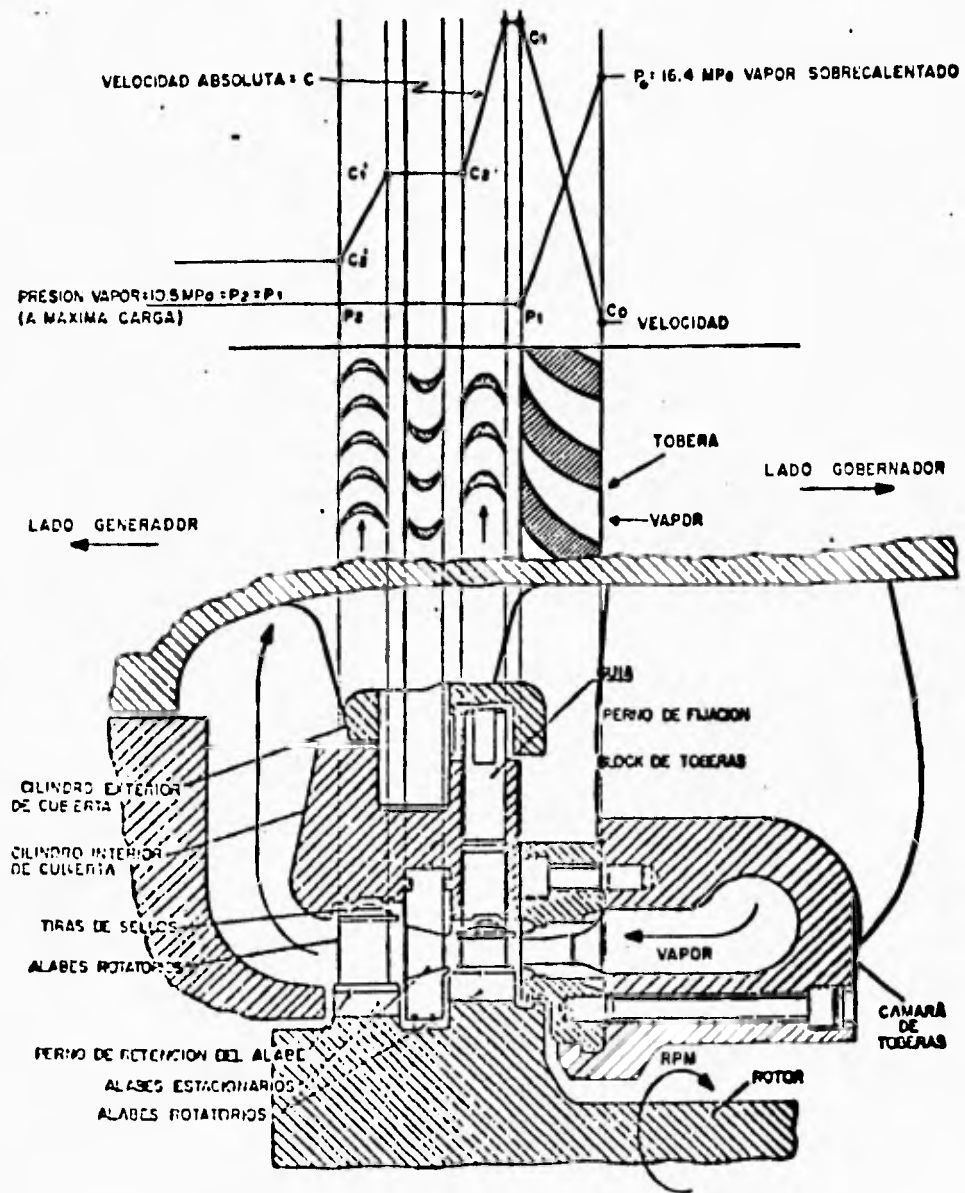


FIG. VI.1.9
PASO CURTIS (PASO DE IMPULSO)

terior, solamente se cambia su dirección en los álabes manteniéndose su presión, teóricamente, constante ($P_1 = P_2 = 10.5 \text{ MPa}$) no así su velocidad que se decrementa al pasar por los álabes móviles.

El paso curtis, por su diseño, constituye el elemento de regulación de velocidad del conjunto de turbinas durante el rodado. Después de sincronizar la unidad, el control de la carga se regula con el porcentaje del arco activo del paso curtis.

TURBINA DE ALTA PRESION.

Esta turbina se encuentra entre las turbinas de PI_1 y PI_2 , se le denomina de alta presión por ser la turbina que admite el vapor a más alta presión. Consta de un paso curtis o de impulso (acción) y una sección de álabes de reacción de 10 pasos.

SECCION DE ALABES DE REACCION.- Está constituida por 10 ruedas de álabes de reacción sujetas al rotor y son los que al pasar por ellas el vapor, contribuye a que el rotor gire. La dirección del vapor a través de esta sección es hacia el gobernador.

Alternados en cada rueda de los álabes de reacción, se encuentran 10 ruedas de álabes fijos, sujetos a la carcasa, cada uno de los cuales dirige el vapor que pasa por ellos a la rueda de álabes móviles subsiguientes.

La forma como trabaja el vapor en la turbina de alta presión es la que a continuación se describe (Fig. VI.1.10).

El vapor que ya trabajó en el paso curtis llega a la cámara de la TAP para dirigirse a los álabes fijos en toda la periferia del primer paso. Entre los canales o garganta de los álabes fijos de vapor se expande, su presión baja y por consiguiente su velocidad aumenta de C_0 a C_1 . El vapor con esta velocidad entra a los álabes móviles del primer paso, en donde el vapor también sufre una expansión de los canales de los álabes móviles obteniendo una fuerza de reacción al salir el vapor con mayor velocidad relativa, con una ve-

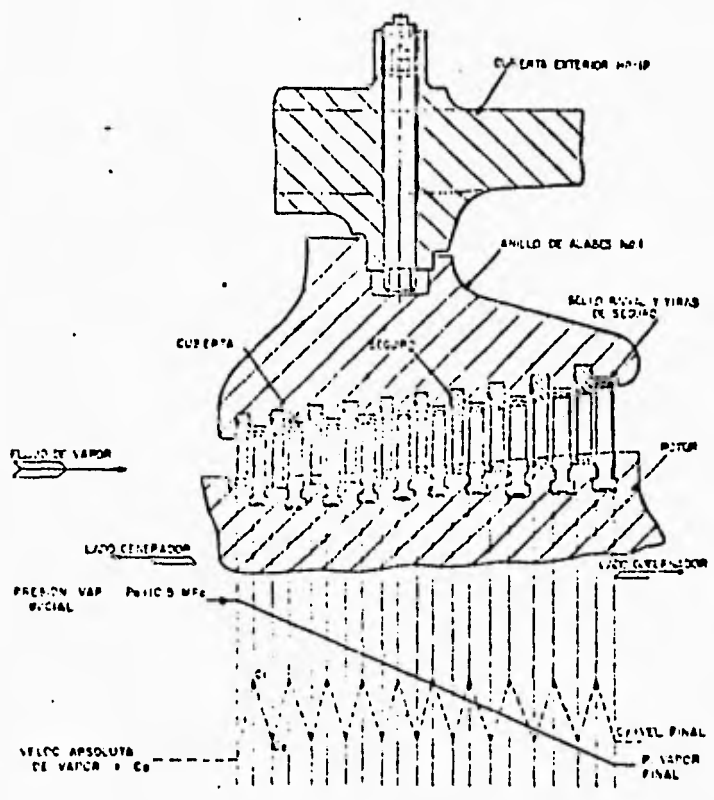


FIG.VI.1.10 TURBINA DE REACCION DE ALTA PRESION.

locidad C_2 el flujo de vapor se dirige ahora a los álabes fijos - del segundo paso donde se vuelve a expandir para alcanzar otra vez - la velocidad C_1 y así sucesivamente en forma análoga continuará su - paso el vapor por todos los pasos de la turbina obteniéndose trabajo mecánico en cada una de estas etapas, hasta salir de los álabes fijos y móviles del paso No. 10.

En la periferia de cada rueda de álabes móviles y fijos se encuentran una serie de tirillas metálicas que sellan e impiden las fugas de vapor de un paso a otro por la unión de rotor y carcasa.

El vapor que sale de la turbina de alta presión se designa como "vapor recalentado frío" el cual es conducido a través de dos líneas al generador de vapor. De estas dos líneas se toma el vapor para la extracción No. 7.

La trayectoria del vapor recalentado frío es hacia el elemento recalentador de la caldera, a donde se dirige para incrementar sólo su temperatura. A la salida del recalentador se tiene un flujo de vapor llamado "recalentado caliente", el cual retorna a la turbina de presión intermedia No. 1 a través de las válvulas de paro e interceptoras.

VALVULAS DE PARO E INTERCEPTORAS DE RECALENTADO.

En cada una de las dos líneas de suministro de vapor recalentado caliente a la turbina de presión intermedia No. 1, se encuentran instaladas dos válvulas denominadas de paro e interceptoras. En el sentido del vapor primero se encuentra la válvula de paro y enseguida, las válvulas interceptoras. La finalidad de las válvulas de paro es impedir el paso de flujo a TPI No. 1 en condiciones de disparo. La finalidad de las válvulas interceptoras es controlar el - - flujo de vapor rodado y bajas cargas. Las válvulas interceptoras - cuentan con una línea que drena las fugas de vapor de sello de vástago hacia el condensador de vapor de sellos (las válvulas de paro - cuentan con línea de drenaje de fugas (Fig. 7I.1.11).

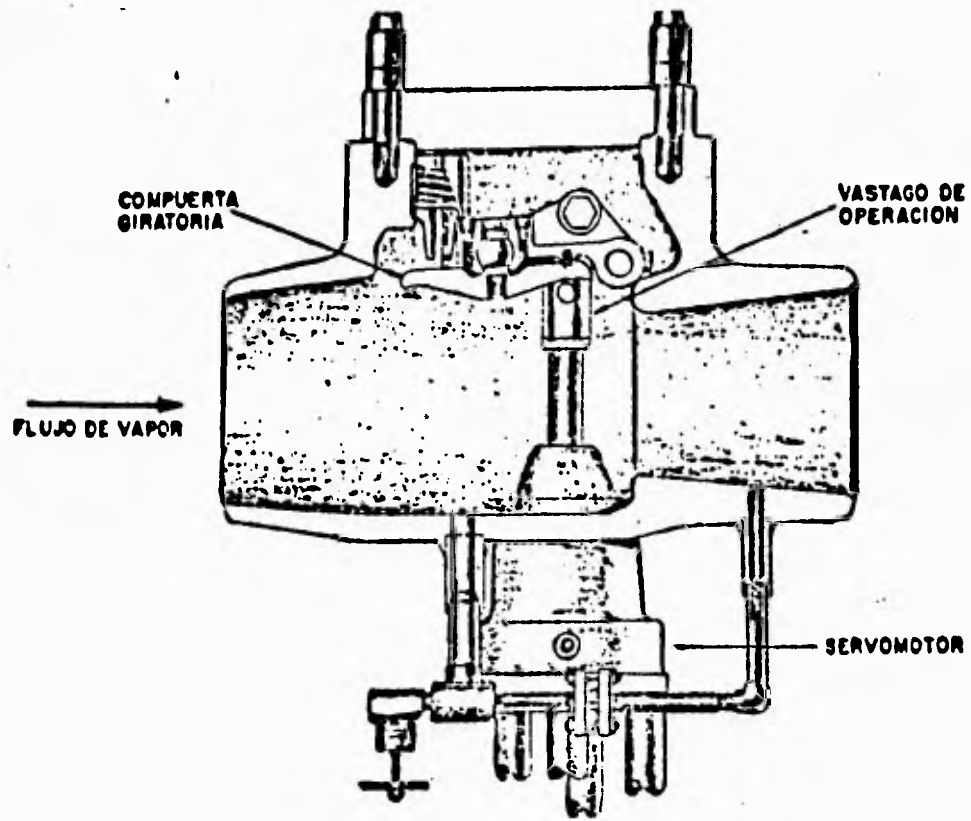


FIG.VI.1.11 VALVULA DE PARO DE RECALENTADO

Las válvulas de paro e interceptoras son del tipo de asiento simple, accionadas cada una de ellas por un servomotor hidráulico, similar al de las válvulas de gobierno, con sus dispositivos para probar el cierre de éstas durante la operación normal (las válvulas de paro no tienen volante de accionamiento local), con sus interruptores que mandan una señal a la sala de control, donde se tiene una indicación visible de la posición de las válvulas, dada por las lámparas localizadas en la parte superior de sus interruptores de prueba. Además, estos interruptores accionan un sistema de enclavamiento que evita la prueba de las 2 válvulas interceptoras o de paro de recalentado a un mismo tiempo (Fig. VI.1.12).

TURBINAS DE PRESION INTERMEDIA (TPI) Nos. 1 y 2

El vapor procedente del recalentador pasa a través de las válvulas de paro e interceptoras a la turbina de presión intermedia No. 1 la cual se localiza en el extremo de la flecha del lado del gobernador, y posteriormente a la turbina de presión intermedia No. 2, localizada entre la turbina de alta presión y la turbina de baja presión. Ambas turbinas son del tipo de reacción y constan de 4 ruedas de álabes móviles, fijas al rotor y 4 ruedas de álabes directrices (o fijos) sujetas a la carcasa y que se encuentran alternadas una con otra (Fig. VI.1.13).

De la misma forma que en la turbina de alta presión se tienen una serie de tirillas metálicas, tanto en la periferia de las ruedas de álabes móviles como en la periferia de las ruedas de álabes fijos que evitan que el vapor se fugue de un paso a otro, a través de los claros que quedan entre rotor y carcasa.

De la descarga de vapor de cada una de las turbinas de presión intermedia, se deriva una línea de sangrado. La línea que se deriva de la descarga de la turbina de presión intermedia No. 1 constituye -

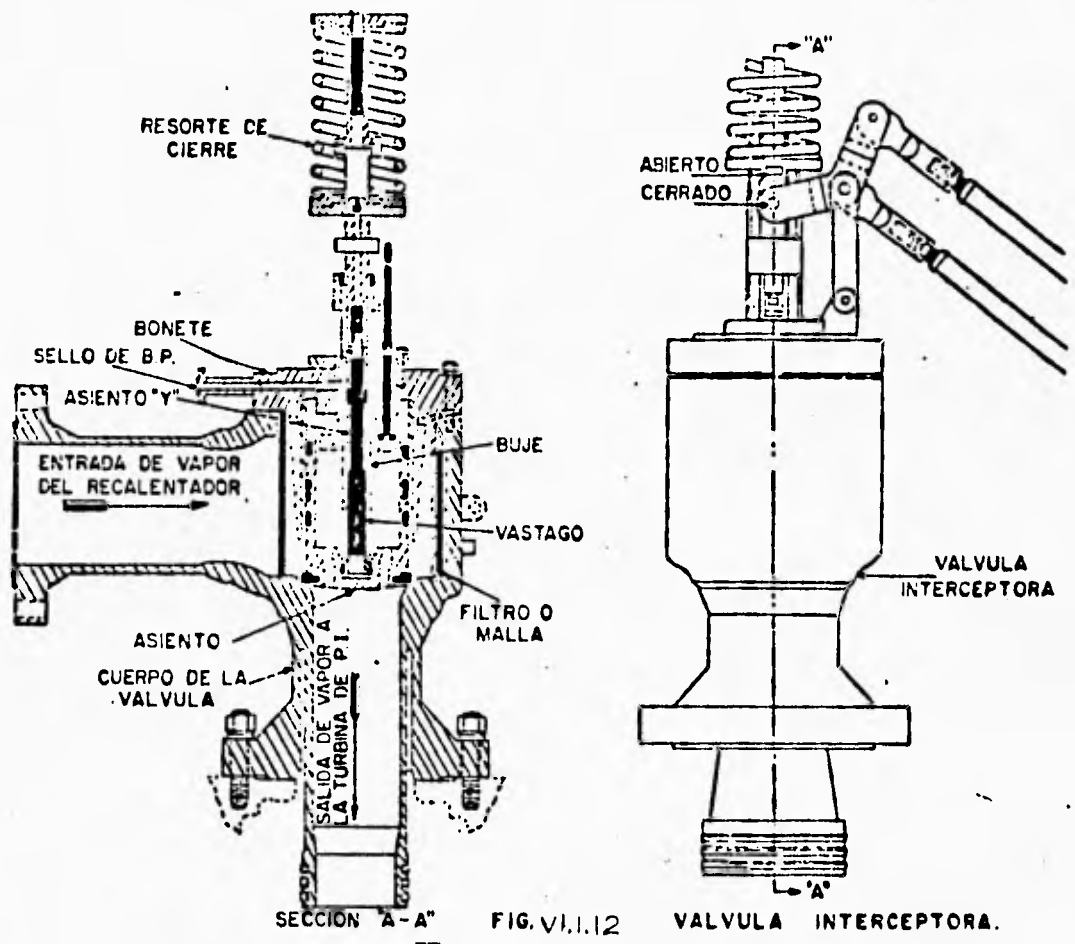


FIG. VI.12 VALVULA INTERCEPTORA.

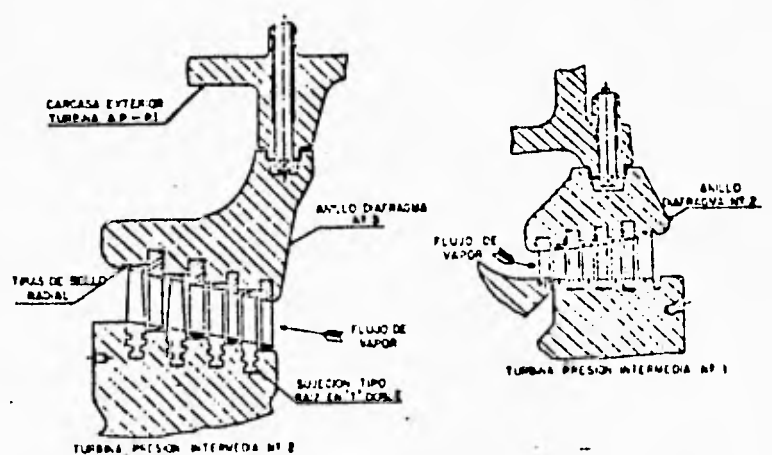


FIG. VI.13 ALABES DE REACCION, TURBINA DE PRESION INTERMEDIA

la extracción No. 6 y la que se deriva de la descarga de la turbina de presión intermedia No. 2 es la extracción No. 5.

La dirección del vapor a través de la turbina de presión intermedia No. 1 es hacia el lado del gobernador, mientras que en la turbina de presión intermedia No. 2 es hacia el lado del generador.

TURBINA DE BAJA PRESION (TBP)

El vapor de escape de la TPI No. 2 es conducido a través de dos tubos de paso (CROSSOVER) a la turbina de baja presión. Esta turbina se encuentra entre la turbina de presión intermedia No. 2 y el generador. Es del tipo de reacción de doble flujo. Se le denomina de doble flujo porque consta de dos secciones opuestas, en donde el vapor es admitido por el centro y fluye hacia sus extremos, formándose 2 flujos. Cada sección consta de 6 ruedas de álabes móviles y de 6 ruedas de álabes fijos, alternados entre sí (Fig. VI.1.14) por lo que en total la turbina de baja presión tiene 12 ruedas fijas y 12 ruedas móviles. Igualmente se tienen sellos en la periferia de los álabes que evitan las fugas de vapor de un paso a otro, excepto la última rueda de álabes móviles (Fig. VI.1.15).

Debido a la humedad que contiene el vapor, justo antes de abandonar la turbina, y a la alta velocidad periférica a la que giran los extremos de los álabes de la última rueda, éstos están cubiertos en el filo de admisión con STELLITE+ para protegerlos contra la erosión producida por el vapor húmedo.

+ STELLITE fué la primera aleación comercial hecha a base de cobalto por la compañía "Haynes Stellite Co." elaborada en varios grados o porcentajes de composición.

La aleación de mayor dureza de "stellite" es del siguiente contenido:

Cobalto	45%	dá mayor dureza y alta resistencia a altas temperaturas.
Cromo	32%	dá resistencia a la oxidación y choque térmico

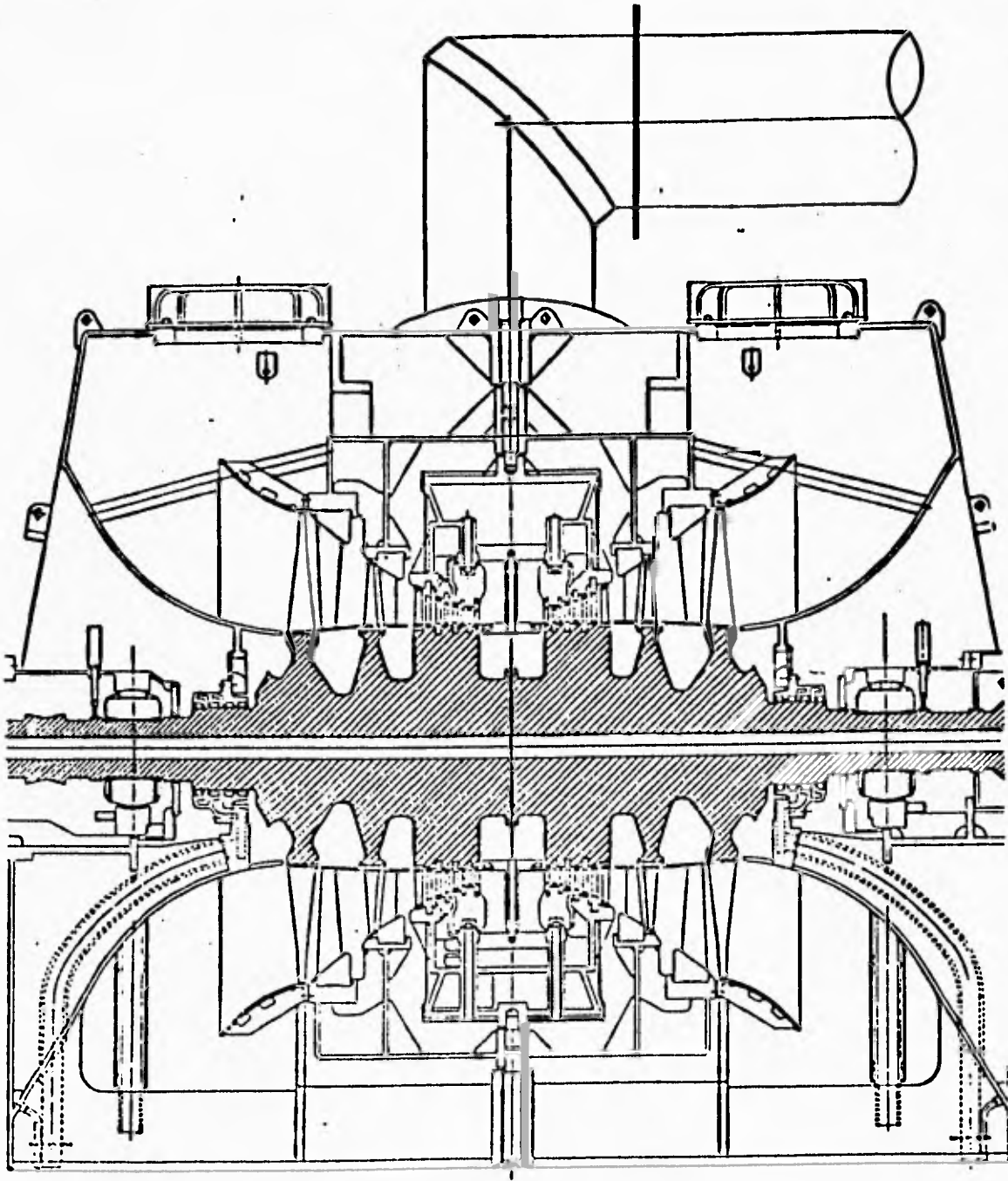


FIG.VI.I.14 TURBINA DE BAJA PRESION.

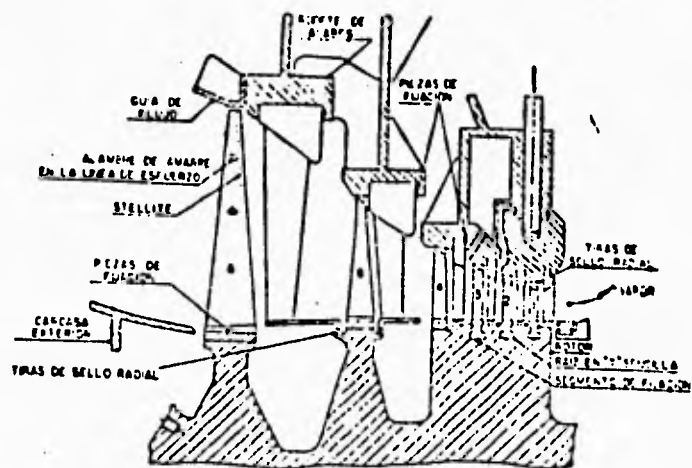


FIG. VI.1.15 ALABES DE REACCION, TURBINA DE B.P.

Tungsteno	17%	dá resistencia al desgaste
Hierro	1.5%	
Silicón	1.5%	
Carbón	2.7%	

A la turbina de baja presión se le hacen sangrados en diferentes pasos de las 2 secciones que la constituyen, siendo las más cercanas a la admisión de vapor las de mayor presión, y las más próximas a la descarga las de menor presión. La toma de vapor de las extracciones están en los pasos siguientes:

- Extracción No. 4 del 1er. paso en la sección lado gobernador
- Extracción No. 3 del 3er. paso en la sección lado generador
- Extracción No. 2 del 4o. paso en cada sección.
- Extracción No. 1 del 5o. paso en cada sección.

CARCAZAS DE LA TURBINA.

La turbina está compuesta por 2 carcazas, una que aloja los rotores de las turbinas de alta presión, presión intermedia Nos. 1 y 2, y la otra que aloja el rotor de la turbina de baja presión. Cada una de éstas carcazas está constituida por una envolvente interior y otra exterior, las cuales son fabricadas de una aleación de acero fundido y se encuentran divididas en el plano horizontal con respecto al centro para formar una base y una tapa (Fig. VI.1.16).

La carcaza interior de alta presión se apoya en la carcaza exterior en la junta horizontal, y es guiada en la parte superior o inferior por pasadores de espiga a fin de mantener la posición correcta con respecto al eje de la turbina y a la vez, para permitir que se expanda libremente en respuesta a los cambios de temperatura. (Fig. VI.1.17).

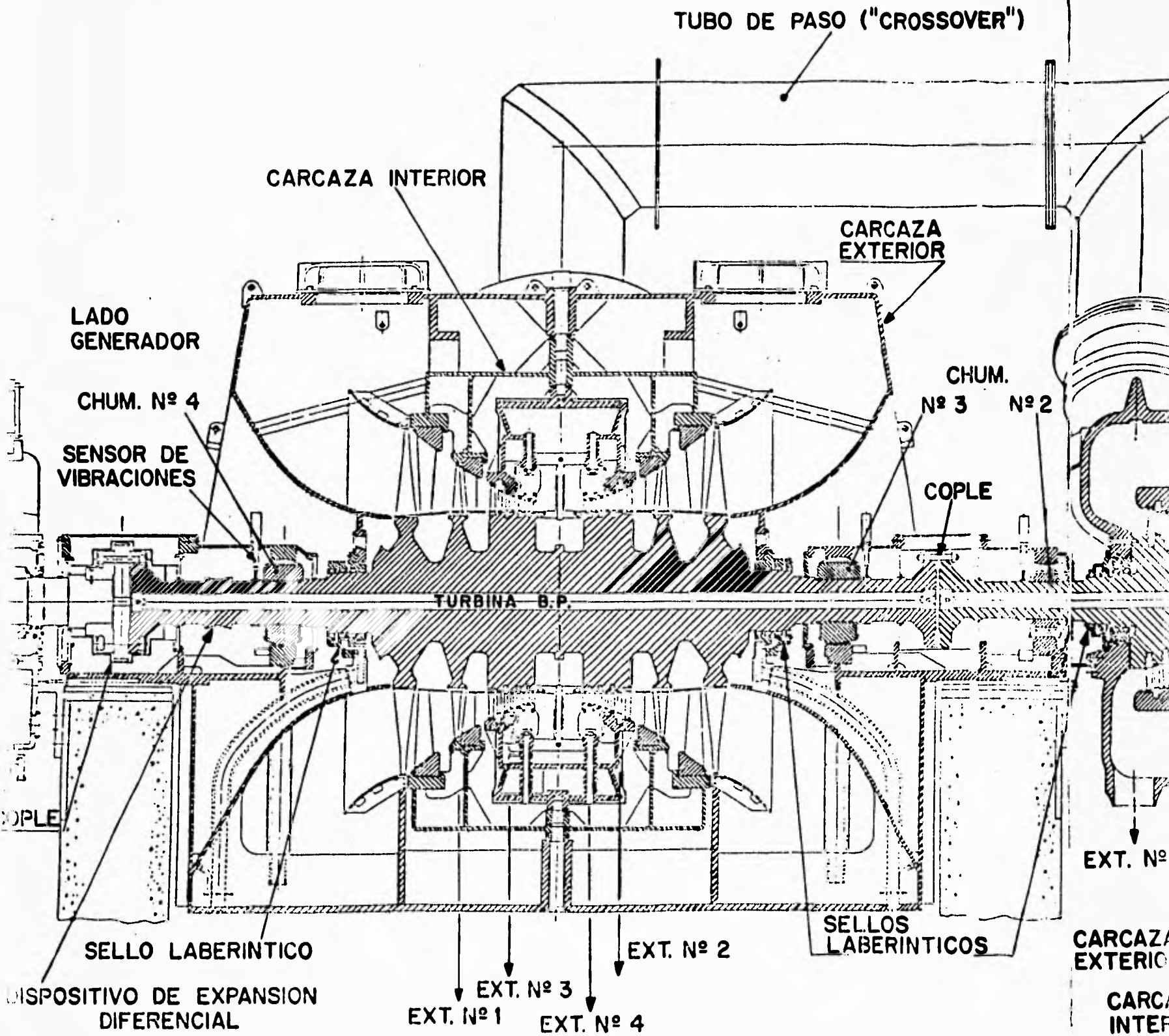
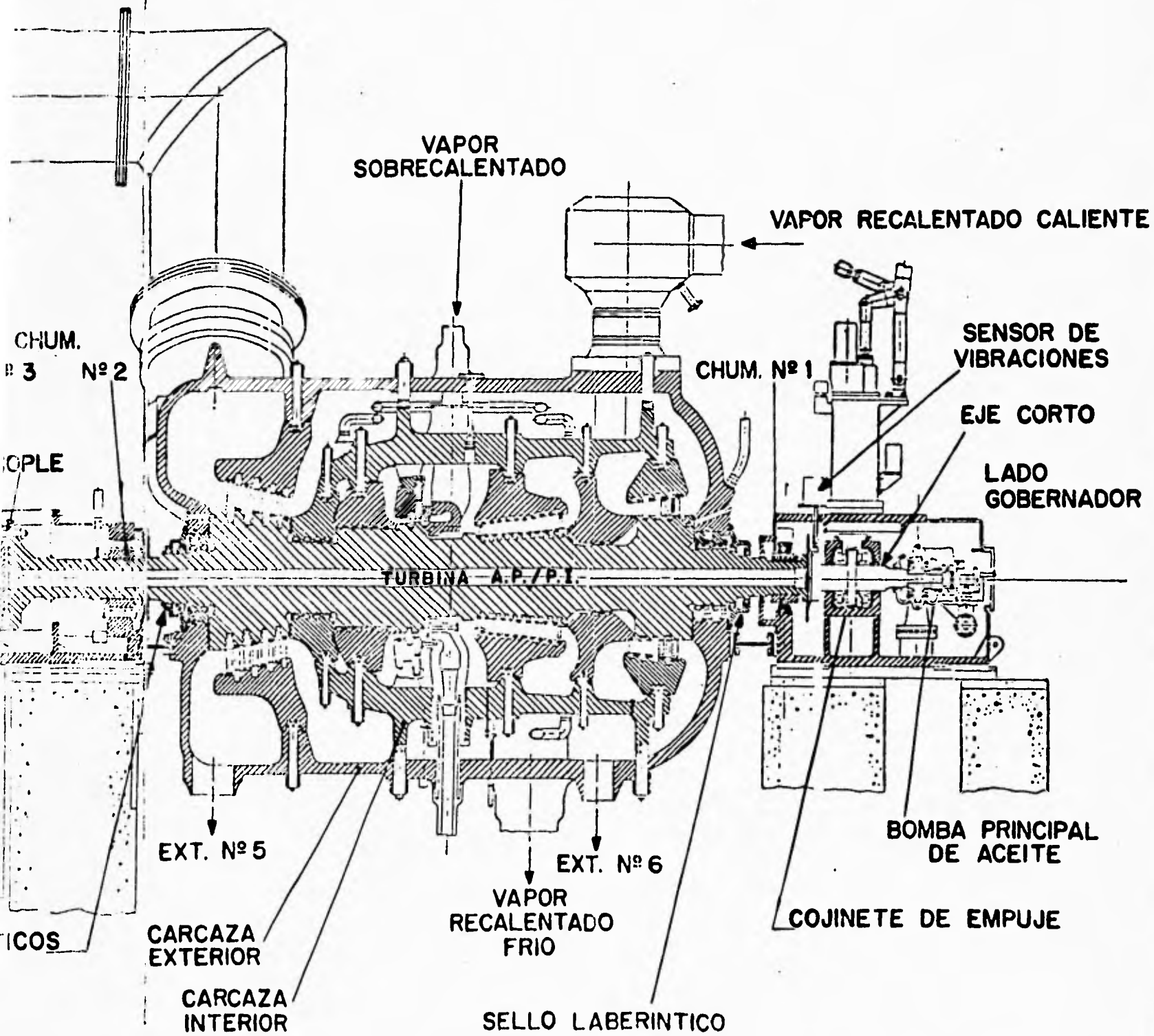


FIG. VI.16

CORTE LONGITUDINAL

OVER")



SECCION LONGITUDINAL DE TURBINA.

Dos guías, una de cada extremo de la turbina de baja presión fijan las carcazas en dirección transversal, permitiendo expanderse libremente en dirección axial. Otras dos guías, una en cada lado, colocadas transversalmente, cerca de la línea central de la turbina de baja presión, localizan la carcasa en dirección transversal. (Fig. VI. 1.18).

Por lo tanto, desde un punto cercano a la descarga, la carcasa puede expanderse libremente en cualquier dirección sobre la placa-base de asentamiento.

El extremo de la carcasa de alta presión/presión intermedia del lado del generador, está sujeta rígidamente con la carcasa de baja presión y fija definitivamente la posición axial de la turbina de alta presión/presión intermedia con la carcasa de baja presión. A esta unión se le llama "punto de apoyo" de la turbina (Fig. VI.1.19).

El espacio libre entre la carcasa exterior y la interior de la turbina de alta presión/presión intermedia, se utiliza para conducir el vapor, que ya trabajó en la turbina de presión intermedia No.1, a la entrada de la turbina de presión intermedia No. 2. El vapor de escape de esta turbina es conducido a la entrada de la turbina de baja presión a través de 2 tuberías (Crossover).

SELLOS DE LAS TURBINAS DE VAPOR.

En los extremos de las turbinas de presión intermedia Nos. 1 y 2 (en el cuello que forman la carcasa y el rotor), el vapor que fluye dentro de la turbina tiende a salirse hacia la atmósfera. En la turbina de baja presión debido a encontrarse montada directamente sobre el condensador, ésta queda influenciada por el vacío del mismo y el aire atmosférico tiende a introducirse por el cuello entre la carcasa y el rotor. Para evitar estos problemas, las carcazas son selladas con vapor.

El sellado del vapor consiste en una serie de secciones angostas por donde pasa el vapor. Este estrangulamiento del vapor se

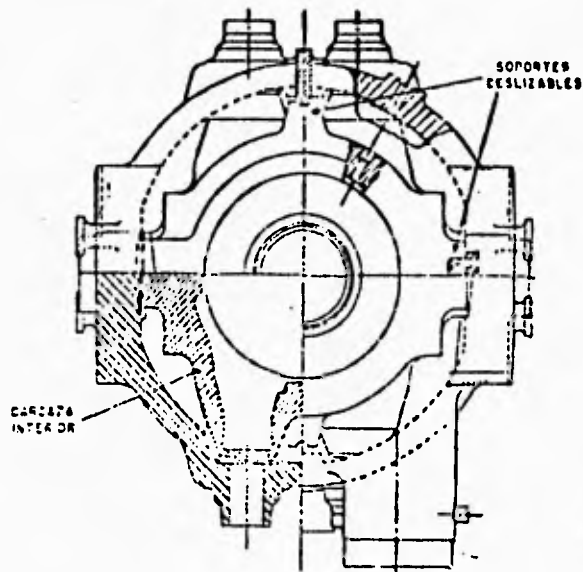


FIG. VI.1.17 DESLIZAMIENTO DE CARCAZA INTERIOR CON RESPECTO A CARCAZA EXTERIOR.

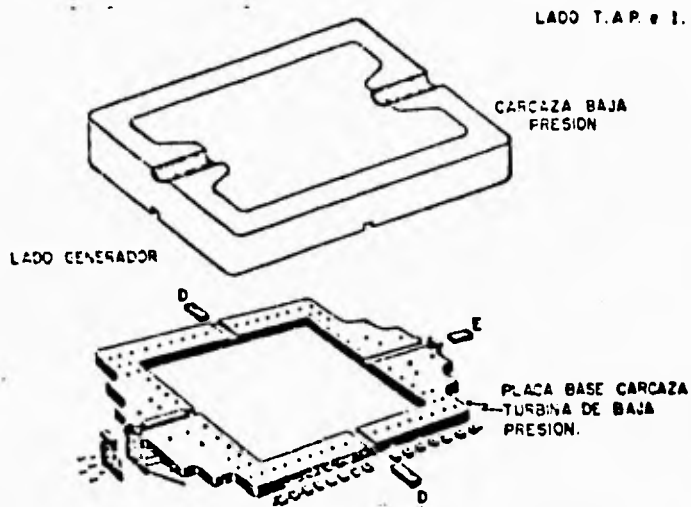


FIG. VI.1.18 EXPANSION VOLUMETRICA DE CARCAZA TURBINA BAJA PRESION.

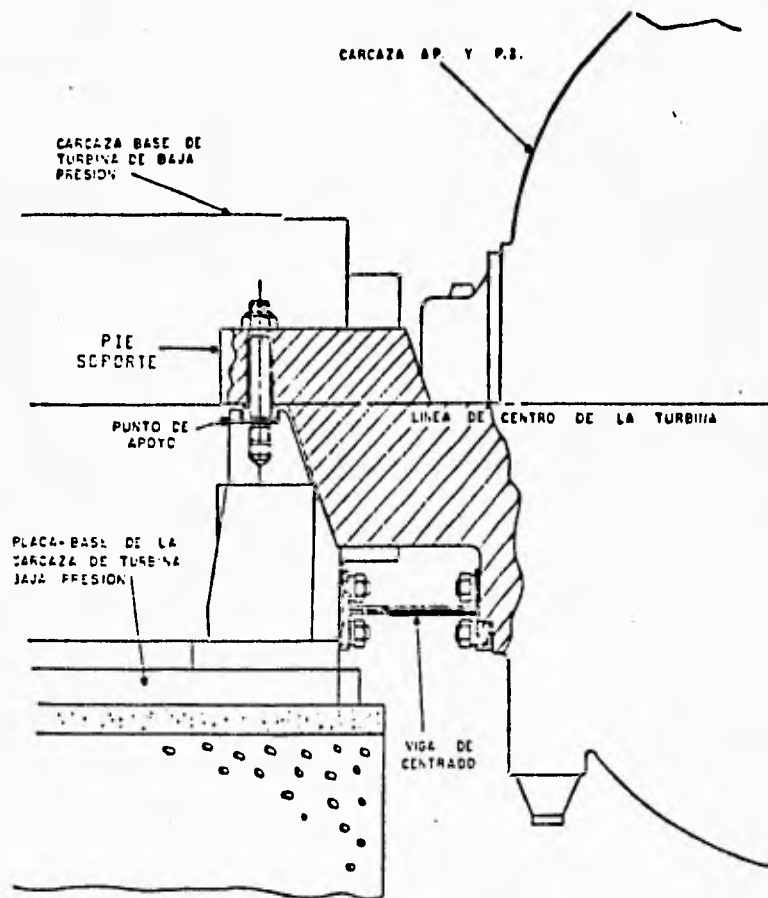


FIG VI.1.19

PUNTO DE APOYO DE CARCAZA TURBINA
ALTA PRESION/PRESION INTERMEDIA/ CON
CARCAZA TURBINA BAJA PRESION.

efectúa con la colocación de tirillas o sellos laberínticos. Estas cintas o sellos laberínticos se montan en la carcaza de tal modo que queden con un huelgo mínimo hacia el rotor, tal como se muestra en la (Fig. VI.1.20).

Al fluir el vapor por los huelgos (área de restricción) se efectúa una expansión y consecuentemente una aceleración del mismo.

En la cámara de expansión la energía cinética se pierde y se transforma en calor. Al pasar al siguiente huelgo el vapor nuevamente se expande adquiriendo un incremento de velocidad, la cual se transforma otra vez en calor en la siguiente cámara de expansión. Este proceso se repite en todos los pasos del sello laberíntico, de tal modo que la presión final del vapor se abate notablemente.

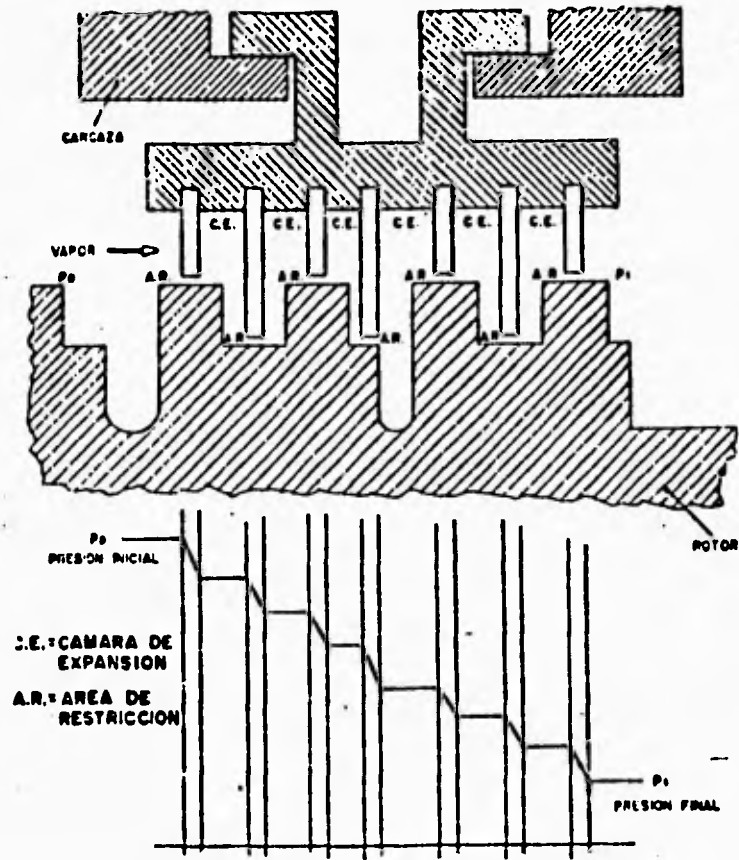
A esta caída de presión a través de los sellos de laberinto se denomina comunmente "laminación".

Entre más pasos tenga el sello de laberinto, más grande será la resistencia y será menor la presión de vapor que pasa a través del último paso laberíntico.

En la sección de los sellos laberínticos se tienen dos cámaras: una cámara "X" y una cámara "Y". En la cámara "X" se mantiene una presión de 20 KPa bajo cualquier condición de operación, lo cual se logra suministrando vapor a dicha cámara. En la cámara "Y" se mantiene una presión de vacío que se obtiene por efecto del ventilador del condensador de vapor de sellos. El vapor que pasa de la cámara "X" a la cámara "Y" se mezcla con el aire que pasa del medio ambiente a la cámara "Y". Esta mezcla aire vapor es succionada por el condensador del vapor de sellos (Fig. VI.1.21).

SELLOS DE PLOMO.

El diafragma frágil, o sello de plomo, está montado en el escape de la turbina de baja presión, sobre la carcaza (uno en cada lado de la carcaza), con el fin de tener un alivio automático cuando la presión del condensador se incrementa arriba del vapor máximo de se-



CAIDA DE PRESION DE VAPOR AL PASAR POR LOS SELLOS LABERINTICOS (LAMINACION DE LA PRESION) EN TURBINA A.P. P.I. LADO GOBERNADOR.

FIG VI.1.2b

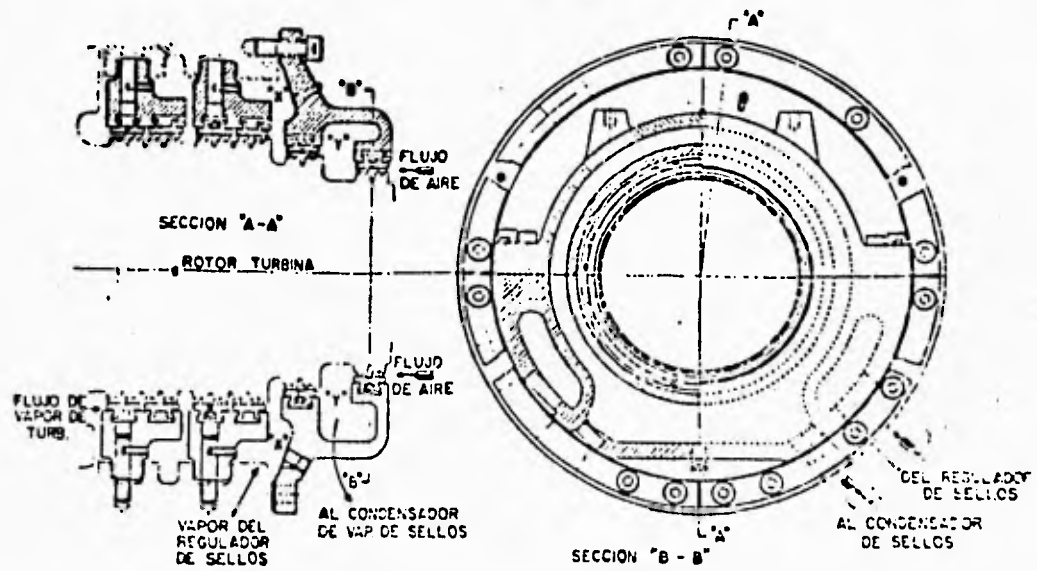


FIG. VI.1.2] SUMINISTRADO DE VAPOR A SELLOS LABERINTICOS.

guridad, a la cual fué diseñado el cilindro de baja presión (Fig.

VI.1.22).

Estos diafragmas se construyen de plomo delgado y se encuentran apoyados contra la presión atmosférica externa sobre otro disco soporte. Si la presión de escape se eleva arriba de la presión atmosférica con 36.479 KPa, el diafragma se rompe y alivia la sobrepresión en el escape de la turbina, (Fig. VI.1.23).

PISTON DE BALANCE.

El vapor al expandirse en los álabes móviles y fijos de la turbina, transmite en el rotor un momento de giro y un empuje axial. Este último no efectúa potencia útil y lo recibe el cojinete de empuje,

Por lo general estos esfuerzos axiales tienden a empujar al rotor en la misma dirección que tiene el flujo de vapor, alcanzando en ocasiones magnitudes muy grandes. Para suministrar una operación segura de la turbina y del cojinete de empuje, es necesario determinar con gran exactitud la dirección y magnitud de la resultante del empuje axial. Dado el tema, es suficiente mencionar que el empuje axial se calcula al diseñar la turbina: por la fuerza que transmite el vapor a las coronas de álabes al pasar a través de ellas; por la diferencia de presión en cada uno de los lados de la rueda móvil, por la diferencia de diámetros en la base de las ruedas móviles y por el esfuerzo total en los sellos. Uno de los métodos de contrarrestar el empuje axial es implementar pistones de balance (cilindro de balance o tambor de balance), como los de la (Fig VI.1.24). Se tienen pistones de balance de alta, baja presión intermedia. Los pistones de balance de alta y baja presión funcionan de la manera siguiente:

Una parte del flujo de vapor a la salida del paso curtis se deriva y se induce a la cámara "A" a través de los sellos laberínticos que conforman el pistón o cilindro de balance de alta presión.

La cámara "A" cuenta con una línea de desfogue que descarta una parte del flujo sobre el escape de la turbina de alta presión para -

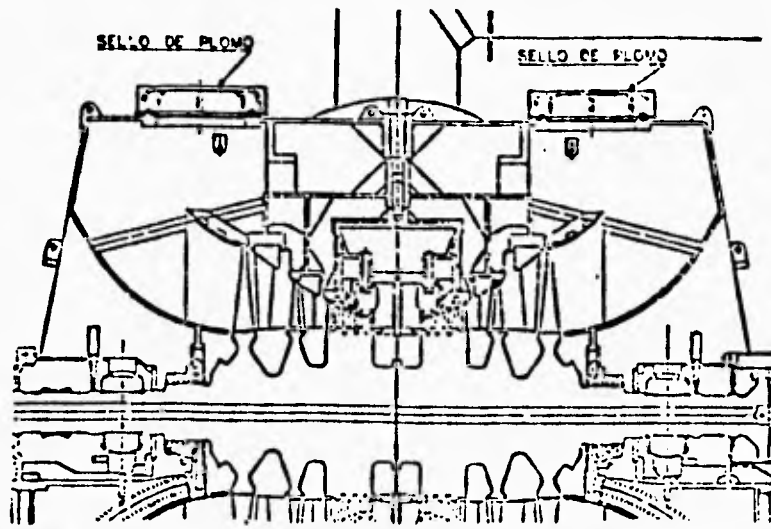


FIG. VI.1.22 DIAFRAGMAS FRAGILES O SELLOS DE PLOMO EN T.6P.

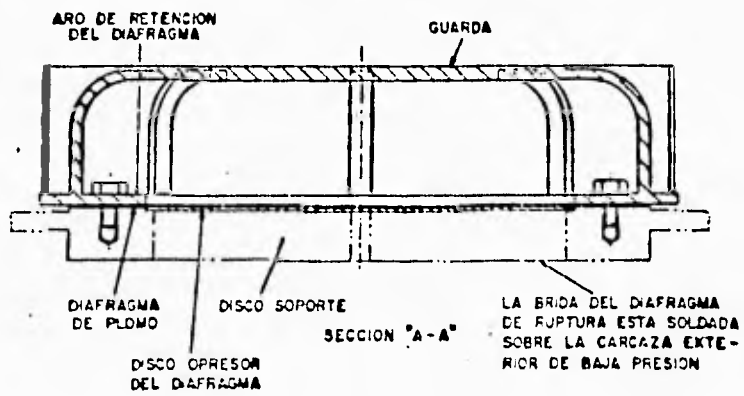
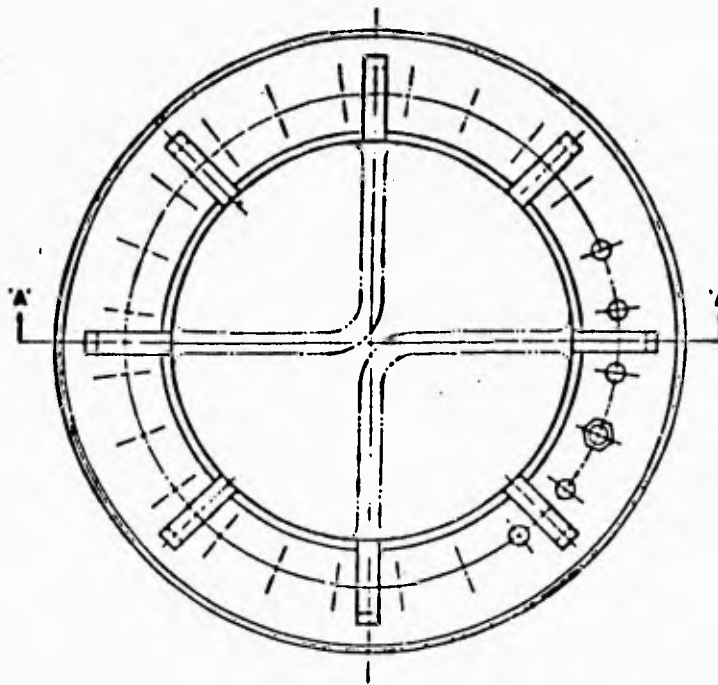


FIG. VI.1.23 DIAFRAGMA DE RUPTURA O SELLO DE PLOMO

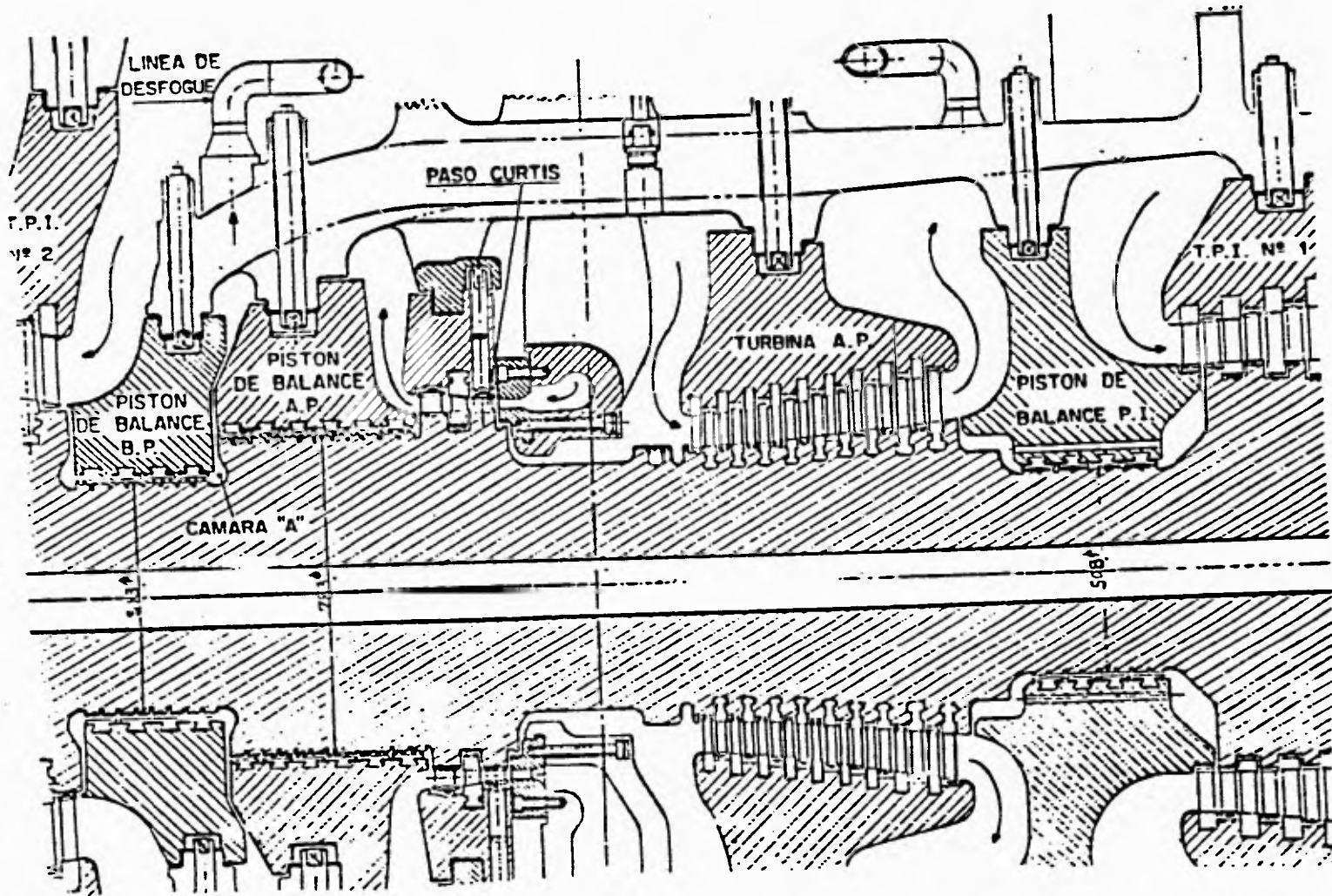


FIG. VI.1.24 PISTONES DE BALANCE.

mantener siempre una presión menor, que la presión de vapor que se tiene a la entrada de los sellos laberínticos del pistón de balance de alta presión. Esta diferencia de presión (AP) establece un flujo de vapor, que al pasar por los sellos laberínticos, va generando parcialmente fuerzas de empuje en cada paso del maquinado laberíntico del rotor, creando una fuerza resultante de cierta magnitud y dirección hacia lado generador.

La otra parte del flujo de vapor en la cámara "A", por diferencia de presiones, fluye a través de los sellos laberínticos del pistón de balance de baja presión originando una fuerza similar en el rotor, a la del pistón de balance de alta presión. Dicha magnitud vectorial coincide con la misma dirección de la fuerza de empuje descrita en el pistón de balance de alta presión.

Entre la descarga de la turbina de alta presión y la admisión de vapor de la turbina de presión intermedia No. 1, se localiza el pistón de balance de presión intermedia, el cual origina una fuerza en el rotor de dirección opuesta a los empujes axiales mencionados anteriormente, es decir, hacia el lado gobernador.

Es oportuno mencionar que otra forma de contrarrestar el empuje axial es oponiendo el flujo de vapor de una turbina con respecto a otra, por ejemplo, la turbina de presión intermedia (TPI) No. 1 (lado gobernador) contra la (TPI) No. 2 de esta unidad (Fig. 7I.1.2^o).

Como se pudo apreciar, la tendencia de la disposición de turbinas y de pistones de balance es determinar la dirección de cada uno de los empujes axiales para oponerlos unos a otros, con fin de reducir la resultante del empuje axial a un valor mínimo.

COJINETE DE EMPUJE.

La colocación del cojinete de empuje es entre la bomba principal de aceite y el cojinete de carga No. 1, siendo su función soportar la fuerza resultante del empuje axial que actúa sobre el rotor del turbogruppo con dirección, ya sea lado generador o lado gobernador.

El cojinete de empuje (Fig. VI.1.26) es del tipo de placa de nivelación, el cual distribuye automáticamente la carga uniformemente sobre todas las zapatas. Estas zapatas se apoyan sobre las placas de nivelación estando sostenidas en el anillo base, el cual está construido en mitades.

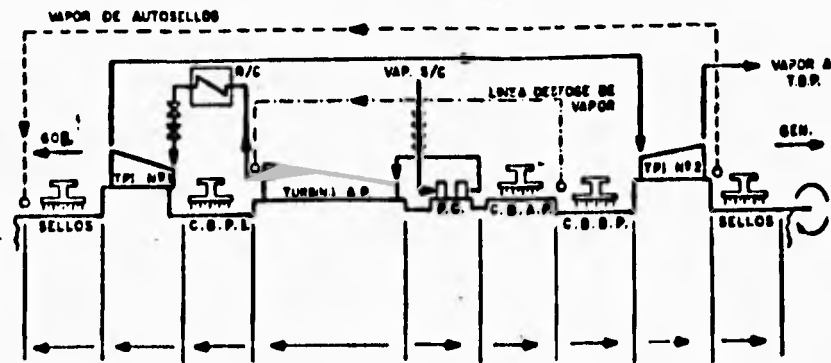
Las placas de nivelación, por medio de su movimiento oscilante permite a las zapatas tomar una determinada posición, de manera que el centro de carga de las superficies recubiertas de metal antifricción, estén todas en el mismo plano soportando equitativamente la fuerza de empuje. Consecuentemente, cada zapata toma una igual cantidad de carga. Este diseño elimina la necesidad de tener todas las zapatas exactamente del mismo espesor. También en caso de un desplazamiento axial, las placas de nivelación autoalinean la carga de empuje sobre cada zapata, distribuyéndose el esfuerzo axial uniformemente, aún cuando el eje que soporta el collar no está exactamente en paralelo con el diámetro de la cubierta.

El empuje axial del rotor se transmite a las zapatas por medio de un collar o disco macizo que está maquinado o torneado íntegramente en el eje corto, el cual está asegurado con pernos en el extremo del rotor, junto a la chumacera No. 1 de la turbina.

Con referencia a la sección "A-A-A" las zapatas y las placas de nivelación se apoyan en el anillo base que está dividido en plano horizontal. El anillo base se sostiene en la caja del cojinete de empuje y la rotación relativa de la caja se evita por medio de las cuñas del anillo base, las cuales se ajustan en un cuñero en la mitad superior de la caja.

La caja del cojinete de empuje está construida en mitades dividida en la línea central horizontal y se fija con pernos y pasadores. Su rotación en la carcasa se evita por un pasador de tope que se proyecta hacia una marca en la base de la carcasa, en la unión horizontal.

La caja se ubica axialmente en la carcasa y en la tapa de un refuerzo maquinado sobre la superficie exterior de la caja, que se ajus-



R/C - RECALENTADOR
 P.C. - PASO CURTIS
 C.B.P.I. - CILINDRO DE BALANCE DE PRESION INTERMEDIA
 C.B.A.P. - CILINDRO DE BALANCE DE ALTA PRESION
 C.B.B.P. - CILINDRO DE BALANCE DE BAJA PRESION

FIG. VI.1.25 DISPOSICION DE DIRECCION Y MAGNITUD VECTORIAL DEL EMPUJE AXIAL

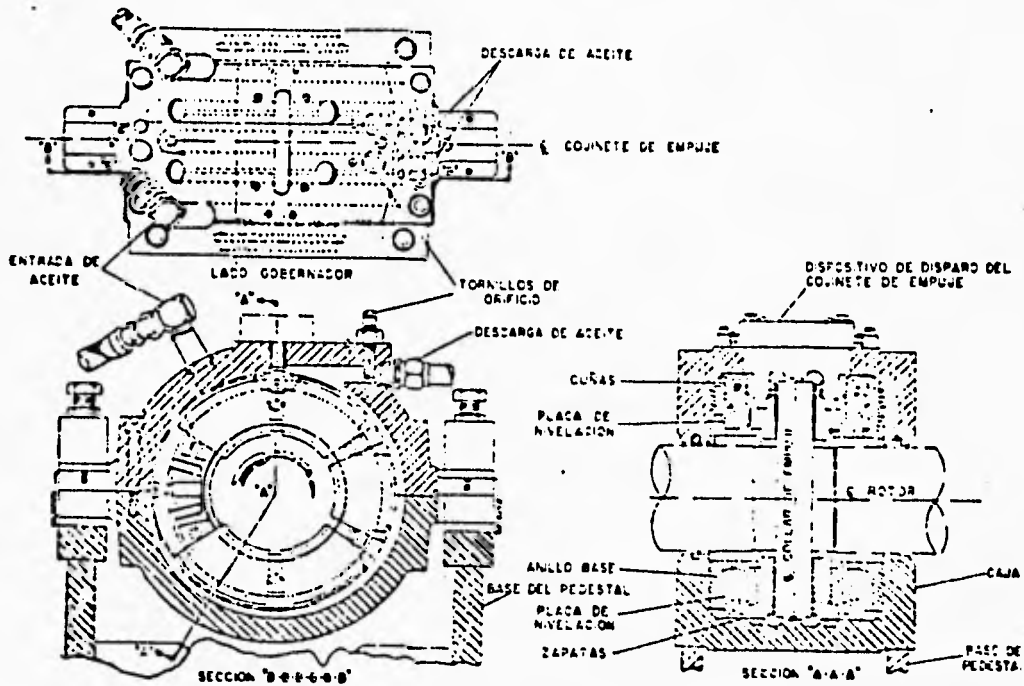


FIG. VI.1.26 COJINETE DE EMPUJE.

ta en el surco de igualación.

El desplazamiento final se debe medir con el micrometro de profundidad en el extremo del eje, lado gobernador, a través del orificio barrenado en la tapa del extremo del pedestal.

El cojinete está inundado todo el tiempo con aceite a presión. - El aceite se suministra directamente desde la línea de suministro a los cojinetes principales. Conforme gira al collar de empuje con respecto a las zapatas, la cuña del aceite entra en la superficie de cada zapata y el collar de empuje (Fig. VI.1.27) en ambos lados.

Así, el aceite es conducido entre las superficies de trabajo por el movimiento del collar, asegurándose una lubricación correcta de estas superficies. La cantidad de aceite que fluye a través de este cojinete, se determina por los tornillos de orificio ubicados en ambas líneas de descarga de la caja del cojinete.

DRENES DE LINEAS PRINCIPALES DE VAPOR DE TURBINA.

Para conducir el vapor desde el generador de vapor hasta la turbina, se utilizan cuatro líneas, dos para el vapor sobrecalentado y las otras dos para el vapor recalentado. caliente. Para conducir el vapor recalentado frío desde la turbina hasta el generador de vapor, se utiliza otro par de líneas. En cada una de estas seis líneas se localiza un dren que ubicado cerca de la turbina, como se aprecia en la (Fig. VI.1.28).

Los drenes de líneas de vapor sobrecalentado son atemperados previamente a la entrada del condensador con agua del sistema de condensado.

Así, el vapor sobrecalentado tiene en la línea (lado izquierdo y lado derecho) un dren ubicado justo antes de la válvula de estrangulamiento. Cada línea de vapor recalentado frío, lado izquierdo y lado derecho, dispone de un dren después del escape de la turbina de alta presión con un arreglo como el mostrado en la (Fig. VI.1.29).

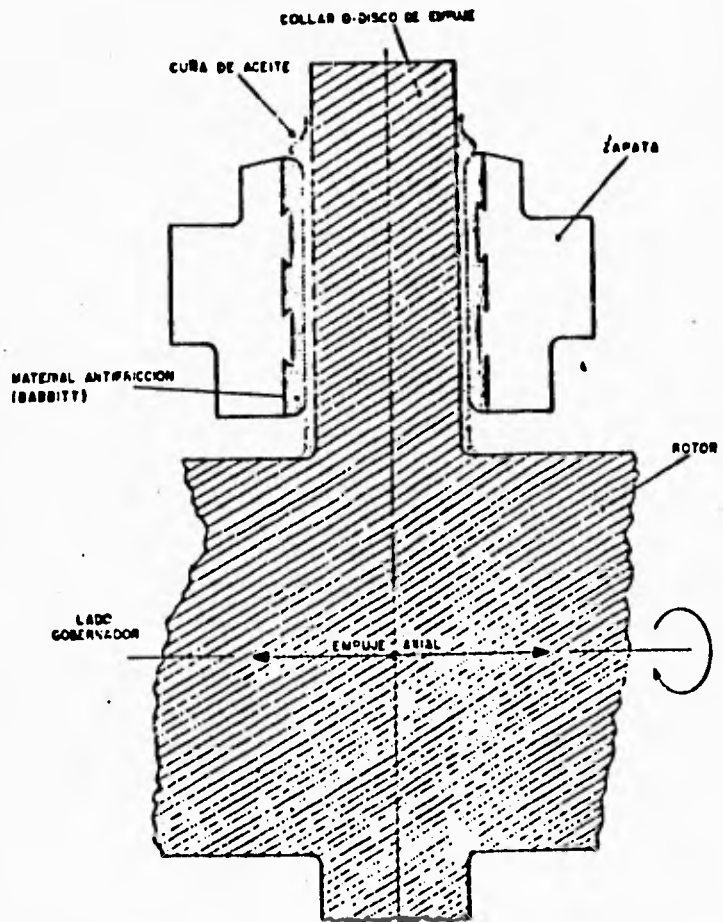


FIG. VI.1.27
 ALTERNATIVA DE DIRECCION DEL EMPUJE AXIAL Y CUÑA DE ACEITE ENTRE ZAPATAS Y COLLAR.

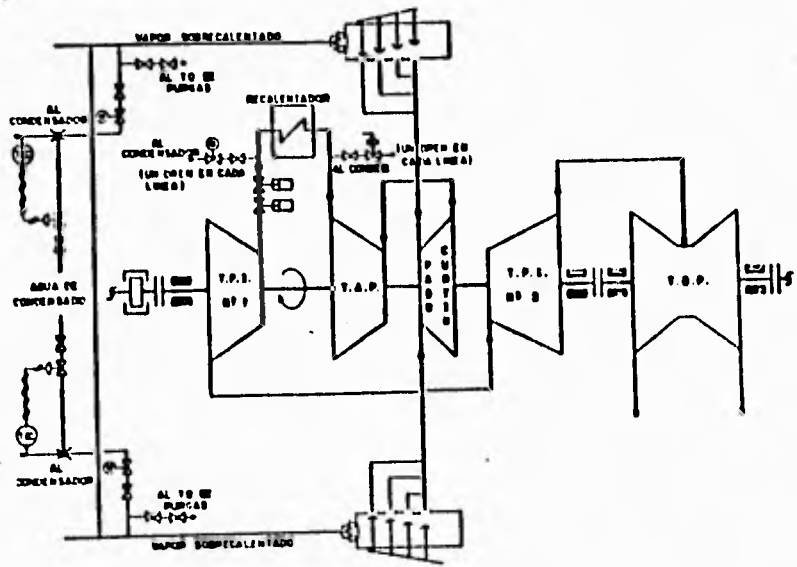


FIG. VI.1.28 DRENES DE LINEAS.

La línea de vapor recalentado caliente cuenta con un dren en cada lado, justo antes de la válvula de paro de recalentado.

La apertura y cierre de los drenes de las líneas de vapor anteriormente mencionadas se efectúa a control remoto, con sus interruptores correspondientes, desde la consola de control, los cuales se encuentran sobre el tablero de auxiliares en lado inferior izquierdo identificados de la siguiente manera:

VAP. PPAL. IZQ.
HS- 1122

VAP. PPAL. DCHO.
HS- 1123

REC. CTE. IZQ.
HS- 1125

REC. CTE. DCHO.
HAS- 1125

REC. FRIO IZQ.
HS- 111

REC. FRIO. DCHO.
HS- 112

El objetivo principal de estos drenes es eliminar el condensado que se forma dentro de las líneas principales de vapor en arranque, paro y disparos de la unidad con el fin de: tener un calentamiento uniforme de cada línea; evitar la erosión, por la humedad y la velocidad del vapor, en los asientos de las válvulas de la turbina; evitar los golpes de ariete que provoca la evaporación instantánea o "flasheo" del condensado atrapado y eliminar el riesgo de inducir agua o vapor húmedo a la turbina.

El dren de la línea de recalentado frío nos sirve también para desalojar los condensados internos de la línea, que se forman cuando la turbina está fuera de servicio (caso especial, después de una prueba hidrostática del recalentador), o con baja carga menor del 20% y así anular el arrastre de condensado, con todas sus consecuencias, al elemento recalentador.

Una de las causas posibles que provocan el condensado interno en las líneas principales de vapor es: el calentamiento de las mismas con el vapor, el cual se enfría dentro de la línea al iniciarse la

La línea de vapor recalentado caliente cuenta con un dren en cada lado, justo antes de la válvula de paro de recalentado.

La apertura y cierre de los drenes de las líneas de vapor anteriormente mencionadas se efectúa a control remoto, con sus interruptores correspondientes, desde la consola de control, los cuales se encuentran sobre el tablero de auxiliares en lado inferior izquierdo identificados de la siguiente manera:

VAP. PPAL. IZQ.
HS- 1122

VAP. PPAL. DCHO.
HS- 1123

REC. CTE. IZQ.
HS- 1125

REC. CTE. DCHO.
HAS- 1125

REC. FRIO IZQ.
HS- 111

REC. FRIO. DCHO.
HS- 112

El objetivo principal de estos drenes es eliminar el condensado que se forma dentro de las líneas principales de vapor en arranque, paro y disparos de la unidad con el fin de: tener un calentamiento uniforme de cada línea; evitar la erosión, por la humedad y la velocidad del vapor, en los asientos de las válvulas de la turbina; evitar los golpes de ariete que provoca la evaporación instantánea o "flasheo" del condensado atrapado y eliminar el riesgo de inducir agua o vapor húmedo a la turbina.

El dren de la línea de recalentado frío nos sirve también para desalojar los condensados internos de la línea, que se forman cuando la turbina está fuera de servicio (caso especial, después de una prueba hidrostática del recalentador), o con baja carga menor del 20% y así anular el arrastre de condensado, con todas sus consecuencias, al elemento recalentador.

Una de las causas posibles que provocan el condensado interno en las líneas principales de vapor es: el calentamiento de las mismas con el vapor, el cual se enfría dentro de la línea al iniciarse la

maniobra de arranque; con un flujo de vapor que corresponda a una - carga menor del 20% nominal; con la puesta fuera de servicio y después de un disparo de la unidad, cuando se "embotella" la caldera por un tiempo tan prolongado que propicie que el vapor atrapado en las - líneas empiece a perder temperatura hasta llegar al punto de saturación.

DRENES DE LA TURBINA.

Los drenes de la turbina son tres:

- Dren del "bloque de orificios"
- Dren del "paso curtis"
- Dren de la "carcaza exterior"

La ubicación de estos drenes guarda la secuencia que describe - el vapor al pasar desde las cajas de vapor hasta la turbina de presión intermedia No. 2 (Fig. VI.1.30).

La finalidad de estos drenes es eliminar el condensado que se forma en las zonas respectivas durante las etapas de calentamiento y paro de la unidad. Cada uno de estos drenes dispone de una válvula motorizada, las cuales se operan desde la sala de control.

El criterio que se utiliza para el cierre de dichos drenes es - que el flujo de vapor a través de la turbina es suficiente para - mantener una temperatura adecuada en los metales y así, evitar la condensación de éste. La forma de corroborar este criterio es verificar que la diferencia de temperatura en los puntos inferior y superior de la carcaza exterior no sea mayor de 30°C.

DREN DE BLOQUE DE ORIFICIOS.

Las cuatro válvulas de gobierno, de cada caja de vapor, descargan individualmente a una tubería ajustable que suministra vapor a la cámara de la tobera correspondiente del paso curtis. En el tra-

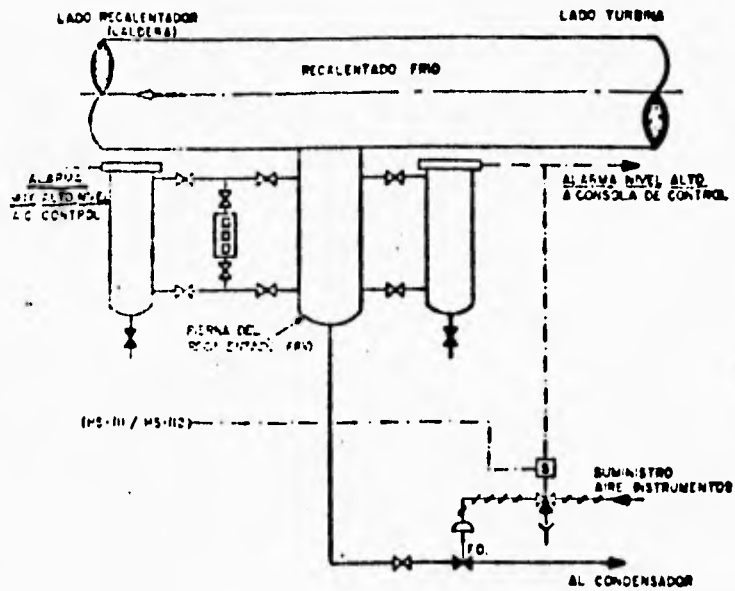


FIG. VI.1.29
DREN DE LINEA DEL RECALENTADO FRIO

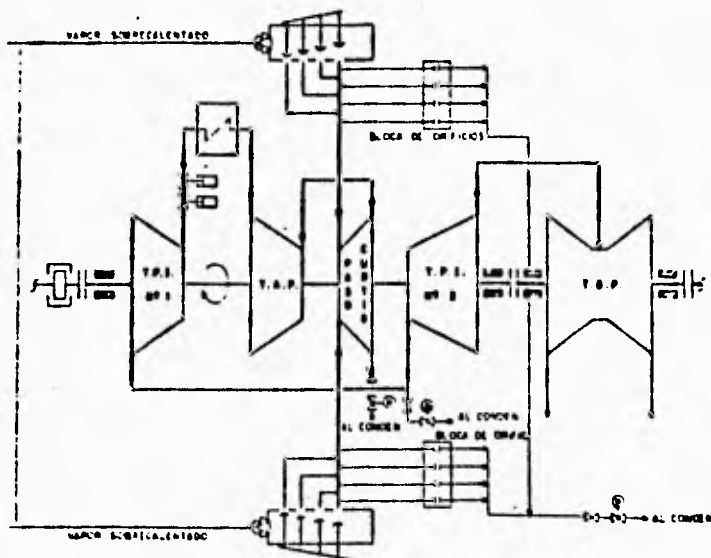


FIG. VI.1.31 OROSCOS DE TURBINA

yecto de la tubería ajustable, desde la salida de la caja de vapor, - hasta la llegada al paso curtis, se tiene en la parte más baja, un dren en cada una de las ocho líneas. Cuatro de estos drenes descargan a un bloque de 8 orificios y los otros 4 a otro. Estos bloques de orificios tienen la finalidad de coleccionar y desalojar el condensado a través de una línea y válvula motorizada, al condensador y así evitar golpes de ariete en la línea y la erosión en los álabes del paso curtis, debido a la humedad y velocidad del vapor.

DREN DEL PASO CURTIS.

El dren del paso curtis está localizado en la cámara de salida del vapor, después del segundo escalón de la rueda curtis, en la parte inferior de la cubierta de alta presión.

La línea-dren del paso curtis se inicia por un barreno inferior en la carcasa de alta presión, pasa la oquedad contigua que se forma entre las carcasas de alta presión y presión intermedia, atraviesa el espesor inferior de la carcasa exterior de presión intermedia, sale al lado exterior, continúa hasta topar con una válvula motorizada y a través de ésta finalmente desemboca en el condensador.

El dren del paso curtis debe estar abierto para expulsar el condensado que se forma del vapor que ya trabajó en los dos pasos de acción, durante el rodado y abajo del 20% de carga.

DREN CARCAZA EXTERIOR.

El dren de carcasa exterior de turbina presión intermedia está ubicado casi a la entrada de la cámara de vapor de la TPI No. 2, sobre la parte más baja de la carcasa.

La línea del dren carcasa exterior empieza por un orificio maquinado a través del espesor de la carcasa exterior de presión intermedia, sale al medio ambiente por la parte inferior para conectarse con una válvula motorizada y de ahí se dirige finalmente al -

condensador,

El drenaje carcasa exterior desaloja el condensado que se obtiene del vapor al enfriarse en el hueco que se forma entre las carcasas interna y externa de las turbinas de alta presión y presión intermedia. Este condensado se forma del vapor que ya se expandió en la TPI No. 2 al iniciarse el rodado del turbogrupo y durante el mismo; cuando se pone fuera de servicio la turbina; cuando la turbina está disparada - o cuando está con carga abajo del 20% nominal.

VALVULA ROMPEDORA DE VACIO.

La válvula rompedora de vacío (VRV) se encuentra localizada a la altura de la chumacera No. 3. La conexión de la válvula (Fig. VI.1.31) se ubica en el escape de la turbina de baja presión (lado gobernador).

Esta válvula se utiliza para romper el vacío del condensador, o para igualar la presión de vacío con la presión atmosférica en los disparos y puesta fuera de servicio de la turbina, y de este modo - evitar incrementos posteriores de la presión en el condensador, para evitar romper los diafragmas o sellos de plomo en TBP, ya que el escape de turbina y tubos del condensador están diseñados para operar con una presión abajo de la atmosférica.

Durante la operación normal de la turbina y en arranques de la misma la VRV deberá permanecer cerrada, caso concreto, después de tener suministro de sellos de vapor a la turbina, y eyector de arranque en servicio, cerrar VRV.

Esta válvula se abrirá para romper el vacío en el condensador cuando la turbina se encuentre disparada y la velocidad del turbogrupo sea menor de 600 RPM, o cuando el criterio del operador lo determine.

La hermeticidad de la válvula rompedora de vacío se asegura con un sello de agua, la cual es suministrada por una línea que viene del cabezal de descarga de las bombas de condensado y a través de una -

válvula de paso tipo macho.

La válvula rompedora de vacío se puede operar a control remoto - desde la consola de control o localmente en forma manual. El motor - que acciona la operación de la VEV se alimenta con corriente directa y por lo tanto está conectado al bus de 125 Volts de C.D.

COJINETES SOPORTE.

El turbogenerador está soportado en siete cojinetes de carga. - En este caso se describirá únicamente el cojinete No. 1, ya que los - demás son semejantes.

El cojinete de carga No. 1 está ubicado entre la turbina de presión intermedia No. 1 y el cojinete de empuje. Se le indica con el - No. 1 por ser el que se localiza primero, contando desde el gobernador hacia el generador. Los cojinetes soporte tienen la finalidad - de fijar y soportar el rotor cuando la unidad está fuera de servicio o durante la operación de la misma.

El cojinete mencionado es del tipo soporte, de inclinación autoalineable con cuatro soportes de acero y revestido de metal antifricción, BABBITT, en el área de trabajo, (Fig. VI.1.32).

Los elementos que componen la aleación del metal antifricción - BABBITT, son: en mayor porcentaje, estaño, antimonio, cobre y con un mínimo de plomo.

En la (Fig. VI.1.32) se muestra el cojinete No. 1 de la turbina donde se ven soportes que están insertados en el anillo - del cojinete. Cada soporte se ubica definitivamente, por el pasador de nivelación. Para la ubicación de cada soporte, el pasador de nivelación lo alinea con la superficie del muñón según el espaciador - interior, insertado en el centro del soporte, gira sobre la superficie redondeada del pasador de nivelación. El lado plano del pasador de - nivelación hace contacto con los espaciadores exteriores que están - esmerilados al espesor requerido para mantener el huelgo del cojinete.

El anillo del cojinete está construido en mitades, unidas con el

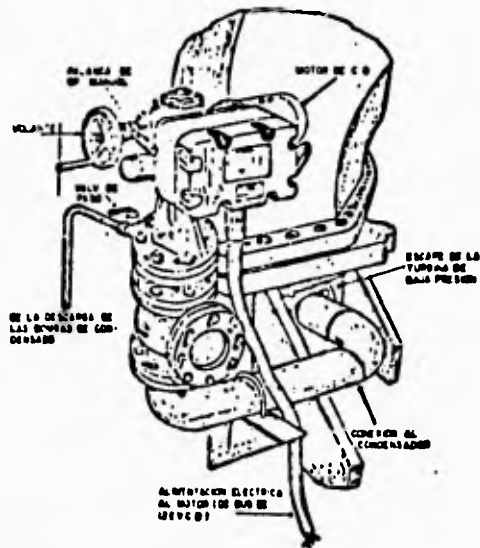


FIG. VI.1.31 VALVULA BOMBEO DE VACIO.

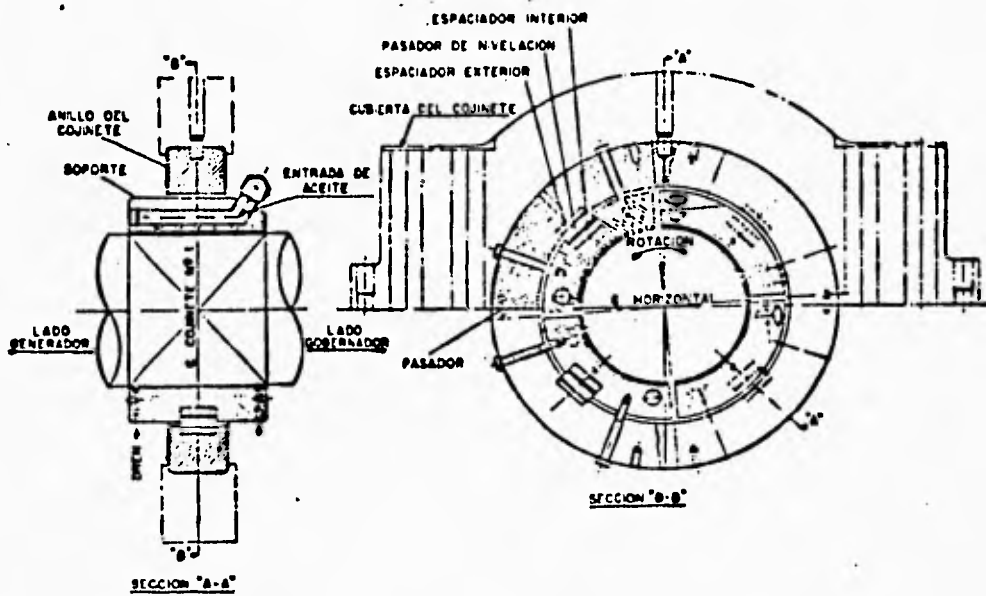


FIG. VI.1.32 COJINETE N° 1

pasador, el anillo ajusta en un surco maquinado en el diámetro interior de la base del pedestal y del anillo soporte que coloca al cojinete axial. El pasador provisto en la parte superior del anillo del cojinete, mantiene la posición, circunferencial del anillo.

El cojinete es lubricado del sistema de aceite de cojinetes, a través de un cabezal, ubicado en la base del pedestal; las mangueras flexibles conducen el aceite al anillo del cojinete, después éste es admitido a los soportes a través de cuatro aberturas que se localizan en cada soporte.

El aceite es distribuido a lo largo de la superficie del cojinete a través de orificios provistos en cada soporte. El aceite retorna al pedestal a través de barrenos en cada soporte.

DESCRIPCION FUNCIONAL.

El vapor producido por el generador de vapor es conducido a través de las líneas de vapor principal y de las válvulas de estrangulamiento hasta las cajas de vapor, antes de las cuales, en cada línea de vapor sobrecalentado, se encuentra una línea de drenaje con válvula motorizada al condensador y también con su válvula manual al tanque de purgas.

Cuando los drenes motorizados descargan al condensador, son atemperados con una línea de agua de condensado para evitar sobrecarga térmica y problemas al condensador principal.

Enseguida el vapor llega a las válvulas de estrangulamiento, las cuales en operación normal se deberán encontrar totalmente abiertas, y al efectuar un disparo de turbina cerrarán instantáneamente (ya que es del tipo abierta-cerrada) cortando así el flujo de vapor. Durante el rodado de la turbina las válvulas de estrangulamiento se mantienen cerradas mientras el vapor admitido a la turbina es regulado sólo con las válvulas piloto. Todo lo antes mencionado depende del tipo de calentamiento que se haya elegido para la turbina, pudiendo ser arco pleno o arco parcial. El arco pleno es cuando todas -

las válvulas de gobierno están abiertas, las de estrangulamiento cerradas, y el flujo de vapor se suministra y controla sólo con las válvulas piloto. El arco parcial es cuando las válvulas de estrangulamiento y piloto están totalmente abiertas y el flujo de vapor se suministra y controla con las válvulas de gobierno; (el arco pleno presenta la ventaja de que se tiene un calentamiento más uniforme en el metal de turbina, con respecto al arco parcial). Por lo tanto, si se escogió arranque a arco pleno, las válvulas piloto regularán el flujo de vapor hasta el 20% de la carga aproximadamente, o hasta que la turbina haya alcanzado 3,380 RPM, a partir de cualquiera de estas dos etapas empieza el arranque llamado "arco parcial" con el cual las válvulas de gobierno cerrarán parcialmente posicionándose a una apertura equivalente a la que tienen las válvulas piloto, éstas últimas y las de estrangulamiento consecuentemente se abrirán lentamente hasta alcanzar el 100% de apertura. En esta transferencia de válvulas, el control del flujo de vapor pasa a las válvulas de gobierno o de control. Las válvulas de gobierno son controladas por el gobernador principal, o por el limitador de carga en operación normal.

Las cuatro válvulas gobernadoras de cada caja de vapor descargan individualmente el flujo de vapor a una tubería ajustable, la cual conduce a la cámara de toberas del paso curtis. En la parte más baja de cada una de estas tuberías se encuentra una línea de drenaje que descarga a un bloque de orificios, el cual tiene la finalidad de eliminar el condensado a través de la válvula motorizada al condensador.

La magnitud del movimiento de giro en el rotor depende del número de toberas que se encuentran alimentando el vapor sobre los álabes y del porcentaje de apertura de las válvulas de gobierno. Por lo anterior, el paso curtis constituye el elemento de regulación de velocidad de la turbina.

En el paso curtis, al final del mismo, está su dren correspondiente que descarga el condensado a través de su válvula motorizada al condensador principal.

El flujo de vapor a través del paso curtis está en dirección -

hacia el generador y al salir de él cambia ahora, hacia el gobernador para entrar en la sección de álabes de reacción de la TAP.

El vapor al fluir por la turbina de alta presión se expande para incrementar la velocidad del flujo de vapor al entrar en el ángulo del perfil del alabe de reacción, en cada paso de la turbina se obtiene un momento de giro en el rotor, lo cual provoca una gran pérdida de presión y temperatura en el flujo de vapor, ; al salir el vapor de la turbina de alta presión, se envía a través de dos líneas llamadas de "recalentado frío" al elemento recalentador del generador de vapor para que recupere el parámetro nominal de temperatura, más no así su presión, y así, de este modo pueda trabajar el flujo de vapor con más energía disponible en el resto de las turbinas y disminuir la humedad del vapor en los últimos pasos de la turbina de baja presión.

En cada una de las dos líneas de vapor recalentado frío, se tiene una línea de drenaje que descarga al condensador principal a través de la válvula neumática, la cual dispone de control automático que la manda abrir cuando detecta alto nivel en su pierna colectora de condensado, o también se puede controlar desde su interruptor; en la sala de control.

El vapor, después de recuperar su temperatura nominal en el recalentador, retorna del generador de vapor a la TPI No. 1 a través de dos tuberías denominadas de vapor "recalentado caliente".

En cada una de las dos tuberías de vapor recalentado caliente, antes de las válvulas de paro, se encuentra una línea de drenaje que descarga el condensado a través de la válvula motorizada al condensador principal.

Las válvulas de paro de recalentado tienen la función de cerrarse cuando se presente un disparo de turbina (en forma similar a como lo hacen las válvulas de estrangulamiento) cortando el flujo de vapor recalentado caliente que esté siendo admitido a la turbina de presión intermedia No. 1. Estas válvulas se abrirán totalmente cuando sea restablecido el disparo de turbina. Después de las válvulas de paro se encuentran las válvulas interceptoras (cuyo funcionamiento es si-

milar a las válvulas de gobierno), las cuales tienen como finalidad regular el flujo de vapor recalentado a la TPI No. 1) Estas válvulas empezarán a abrir con la misma señal de apertura de las válvulas de gobierno pero en mayor proporción que éstas, de tal forma que aproximadamente al 32% de la apertura de las válvulas de gobierno, las válvulas interceptoras se encontrarán totalmente abiertas.

De esta forma el vapor recalentado caliente es admitido a la TPI No. 1, produciendo un momento de giro en su rotor al fluir a través de sus álabes de reacción en dirección hacia el gobernador. Al salir el vapor de la TPI No. 1 se dirige a la No. 2 utilizando para ello el espacio entre la carcasa interior y exterior. En esta cavidad intercarracas se encuentra una línea de drenado que descarga al condensador a través de la válvula motorizada y que es otro de los drenes de la turbina, cuya operación ya se explicó anteriormente.

El vapor fluye a través de los álabes de reacción de la turbina de presión intermedia No. 2, con dirección hacia el generador, produciendo un momento de torsión en su rotor y contribuyendo a que este gire. Al salir el vapor de esta turbina es conducido a través de 2 tuberías de paso (crossover) a la turbina de baja presión.

El vapor en la turbina de baja presión es admitida por su parte central, donde el flujo de vapor se divide y fluye con direcciones opuestas a través de los álabes, produciendo un momento de giro en el rotor, para luego ser descargado al condensador principal. En cada una de las descargas de vapor de esta turbina, se encuentran una serie de toberas, alimentadas con agua de condensado y controlada esta por una válvula neumática "abierta-cerrada" (ON-OFF), la cual puede ser controlada remotamente con su interruptor desde la sala de control o automáticamente si en esa posición se encuentra su interruptor. Dichas toberas tienen la finalidad de refrigerar los conos de escape de la turbina de baja presión, para evitar que su temperatura sobrepase los 70°C (generalmente con bajas cargas o con bajo vacío, durante los disparos de unidad y rodados de turbina), para evitar esfuerzos innecesarios en la cámara de escape de la turbina de baja presión y en el condensador.

El sistema de vapor de sellos del rotor es para evitar las entradas de aire o las salidas de vapor (de los cilindros de la turbina) a lo largo de los extremos del rotor. Esta función se realiza por los componentes siguientes ordenados según se muestra en las (Figs. VI.2.1 , VI.2.2).

Los sellos del rotor son del tipo de laberinto descritos en folletos separados.

El condensador de vapor de sellos, también descrito anteriormente mantiene una presión ligeramente abajo de la atmosférica en el sistema de fugas de sellos para evitar el escape de vapor en los extremos de los sellos.

El controlador de vapor de sellos mantiene el sello con vapor en los sellos del rotor a una presión constante de aproximadamente 30 - KPa manométricos bajo todas las condiciones de operación.

Una línea de desvío (by-pass) en las líneas de alta presión y desfogue permite la operación de la turbina durante el mantenimiento del controlador de vapor de sellos. Para la línea de vapor recalentado frío no se requiere desvío, (by-pass) ya que el vapor de sellos será suministrado del sistema de vapor de alta presión.

OPERACION.

El vapor de sellos se requiere para todos los sellos del rotor - Las válvulas de bloqueo en el sistema de vapor de alta presión, en el sistema de vapor de alta presión, en el sistema de vapor recalentado frío y en la línea de desfogue al calentador No. 1 deberán estar abiertas y las válvulas de los desvíos (by-pass) deberán estar cerradas.

Durante el arranque de la unidad, el vapor al sistema de sellos será suministrado de la línea de vapor de alta presión para sellar los extremos de la turbina. En caso de que se arranque con muy baja

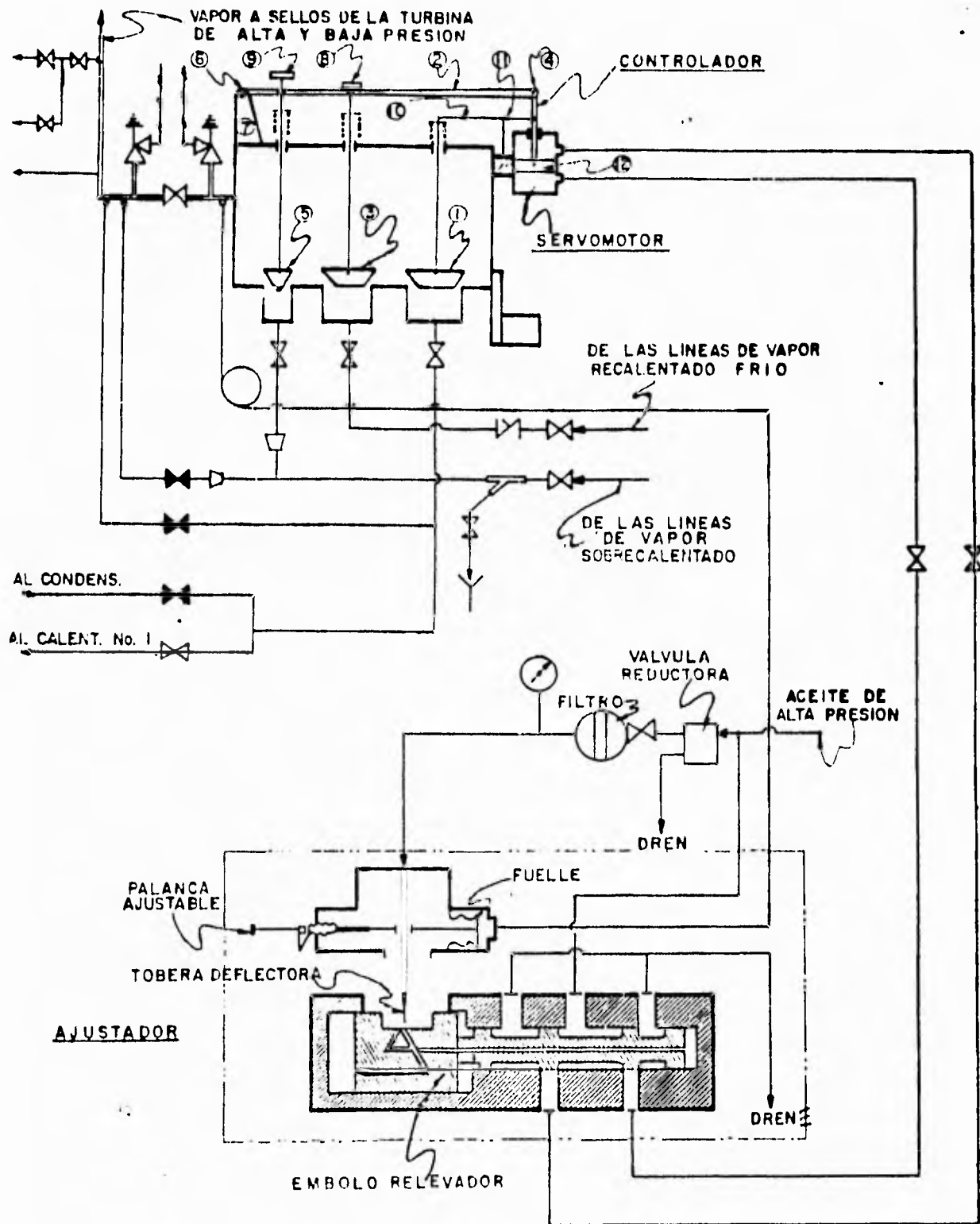


FIGURA
 COMPONENTES DEL SISTEMA DE VAPOR DE SELLOS. VI.2.1

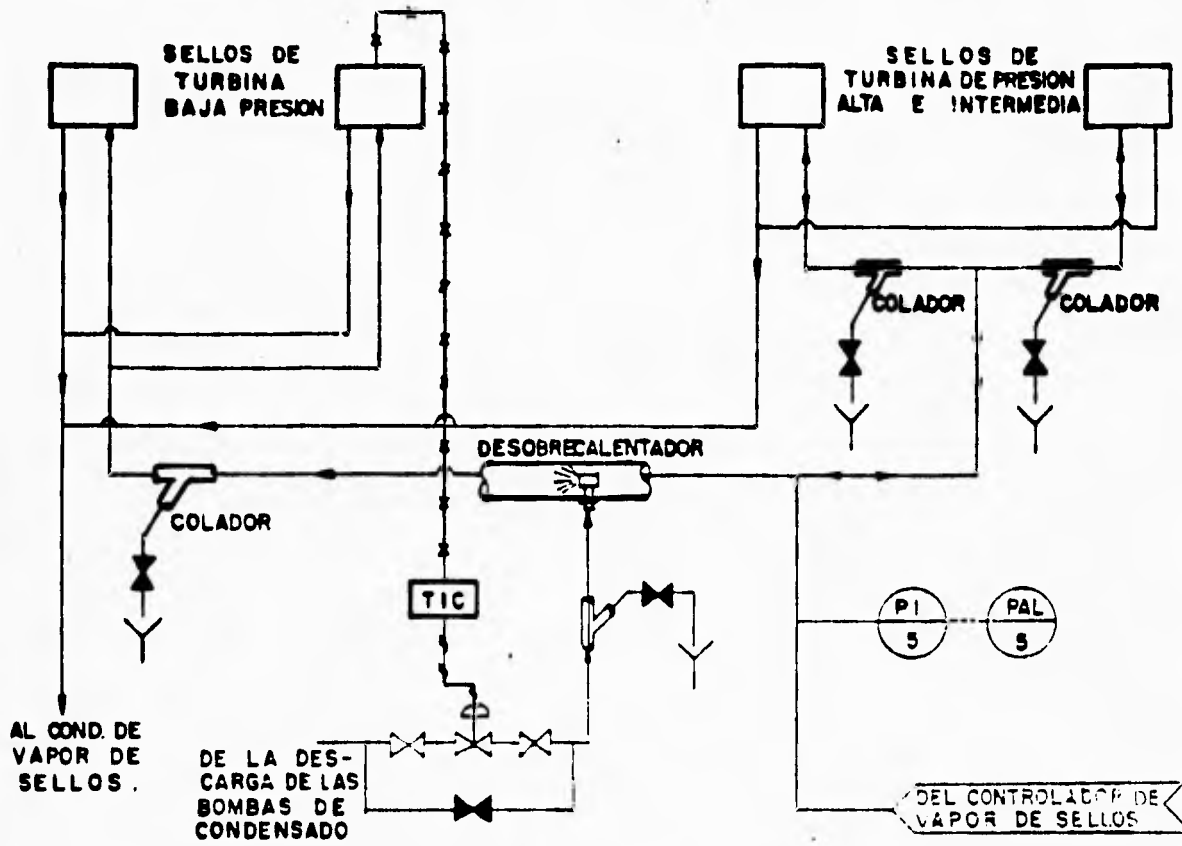


FIG. VI . 2 . 2

presión de vapor en el generador de vapor, puede ser necesario abrir la válvula del desvío (by-pass) lo suficiente para mantener una presión en los sellos de 20 KPa manométricos. Esta válvula del desvío (by-pass) se cerrará cuando la presión del generador del vapor alcance un valor adecuado. Durante la operación con carga, la presión dentro de las turbinas de alta e intermedia se incrementa tanto que el vapor de fuga al exterior (hacia los extremos del rotor) suministrando los sellos de vapor de las turbinas de alta e intermedia. El vapor recalentado frío suministrará el vapor del sello necesario para el sellaje en los sellos de la turbina de baja.

Si la fuga de vapor de los sellos de las turbinas de alta e intermedia es mayor que la cantidad requerida para los sellos de la turbina de baja presión, la presión en el sistema de sellos se incrementará. Este incremento de presión ocasionará que las válvulas de las líneas de alta presión de vapor y vapor recalentado frío se cierre y la válvula de desfogue abra permitiendo que el exceso de vapor fluya hacia el calentador No. 1

COLADORES DE VAPOR.

Los coladores de vapor son usados en las líneas de suministro de cada sello para evitar la entrada de cualquier materia extraña a los sellos del rotor y que pueden causarle daño. Los coladores son de tipo "Y" bridados con cedazo de acero inoxidable. (Fig. VI.2.2).

VALVULA DE SEGURIDAD DE SELLOS DE VAPOR

Para proteger el sistema de sellos contra la presión excesiva se requieren válvulas de seguridad. Las válvulas de seguridad son actua-das directamente por la presión como válvulas de relevo caracteriza-das por la acción de disparo (pop). Las válvulas se calibran para abrir a una presión de 196 KPa manométricas y relevan la cantidad de vapor que podría ser suministrado cuando las válvulas de alta presión de recalentado frío están completamente abiertas mientras la

turbina está en plena carga.(Fig. VI.2.1).

DESOBRECALENTADOR.

El propósito del desobrecalentador es atemperar la temperatura del vapor usado en los sellos de la turbina de baja presión a un valor de rango entre 120°C a 180°C de tal manera que se evite una posible distorsión de las cajas de sellos y daños en el rotor de la turbina. El desobrecalentador consiste en un tubo de sección reducida dentro del cual ha sido insertada una tobera de rocío.

Un bulbo sensible a la temperatura conectado a un controlador indicador de temperatura y a una válvula de diafragma operada por aire, se utiliza para el control de agua de enfriamiento(Fig. VI. 2.2).

El desobrecalentador y tuberías se muestran en el diagrama "Tuberías y drenes de vapor de sellos". El vapor sobrecalentado entra al desobrecalentador incrementando su velocidad a través de la succión reducida del tubo, pasa por la tobera de rocío la cual se localiza en la garganta del desobrecalentador y recibe la inyección de agua de atemperación suministrada por la bomba de condensado la que debido a la velocidad del vapor asegura la atomización de las gotas de agua reduciendo la temperatura por evaporación. El flujo del agua a la tobera de rocío es controlado por una válvula de diafragma que responde a una señal de aire de un controlador de temperatura el cual recibe una señal de un bulbo sensible a la temperatura colocado en un sello de baja presión.

CONTROLADOR DE VAPOR DE SELLOS.

El propósito de este controlador es el de regular el vapor de sellos a una presión constante a los sellos de la turbina. La (fig. VI.2.1) muestra una sección entera del controlador y su relación con el servomotor así como con el regulador de presión -

de vapor de sellos.

El vapor se suministra a la caja de distribución a través de cualquiera de las dos o de ambas válvulas 3 y 5. La válvula 5 admite vapor de las líneas de vapor principal antes de las válvulas de estrangulamiento y la válvula 3 admite vapor de la línea de recalentado frío. Una válvula de retención en esta línea evita el flujo de vapor de la caja a la turbina a través de la línea de recalentado frío.

El controlador está ajustado de tal manera que conforme a la turbina se arranca todo el vapor a sellos es suministrado por la línea de vapor de alta presión a través de la válvula 5. Según se incrementa la velocidad de la turbina y se vaya cargando la unidad, el vapor de sellos es suministrado a través de ambas válvulas 3 y 5. Finalmente cuando la turbina alcanza aproximadamente un 50% de la carga, la válvula 5 que controla el vapor de alta presión, cierra, y la válvula 3 de control de vapor de baja presión, abre. Cuando la carga se incrementa más allá del 50%, las válvulas de suministro de vapor 3 y 5 se cierran y la válvula de desfogue 1 comienza a abrir, y pasando el exceso de vapor a una zona de baja presión a fin de mantener la presión deseada de vapor de sellos, determinada por el ajuste del regulador de presión.

En la (Fig. VI.2.1) se muestra un diagrama del arreglo del controlador de sellos, su servomotor y el regulador de presión de vapor de sellos.

La palanca 2 de operación del controlador de vapor de sellos está conectado al vástago del émbolo de operación del servomotor por medio de un eslabón 4 de tal forma que un movimiento hacia arriba del émbolo de operación abre la válvula de baja presión 3 y la válvula 5 de alta presión.

La palanca de operación tiene su apoyo en el pasador 6 del soporte 7 y conforme se eleva, hacen contacto con ella las tuercas 8 y 9 de ajuste de las válvulas levantando éstas contra la carga de sus resortes de cierre. Conforme se mueve hacia abajo el vástago

del émbolo de operación, las válvulas se mueven a su posición de cerrado y la palanca de operación de la válvula de desfogue 10 apoyada en el espárrago 11 levanta la válvula de desfogue 1 fuera de su asiento.

La presión mantenida en el sistema de vapor de sellos es controlada por el regulador de presión de vapor de sellos. La presión de aceite, que lo regula es determinada por el cambio en la presión de vapor de sellos que actúa sobre un fuelle y la transmite a través de un eslabón adecuado, al émbolo relevador.

El regulador de presión de aceite de control está conectado a las cámaras superior e inferior del émbolo del servomotor.

La operación es como sigue: si la presión del vapor de sellos disminuye, este cambio en la presión es transmitida a través del eslabón al émbolo relevador e incrementa la presión abajo del émbolo del servomotor.

Un incremento en la presión mueve el émbolo de operación del servomotor hacia arriba originando que las válvulas de control 3 y 5 de vapor de sellos abran en una cantidad suficiente para elevar la presión de vapor de sellos a la presión de ajuste del regulador. Si la presión de vapor de sellos aumenta, ocurre un movimiento opuesto al anterior, el émbolo de operación del servomotor se moverá hacia abajo y la presión de sellos disminuirá. Con esta disposición de control, la presión de vapor de sellos es mantenida constante bajo todas las condiciones de operación.

SERVOMOTOR DEL CONTROLADOR DE VAPOR DE SELLOS.

El propósito del servomotor, mostrado en la (Fig. VI.2.1) es operar las válvulas del controlador de vapor de sellos para mantener una presión a los sellos de vapor aproximadamente de 29.42 KPa manométricas en los sellos. Las válvulas están conectadas a través de un eslabonamiento y palancas adecuadas al vástago del émbolo del servomotor. La palanca de operación está apoyada de manera que el -

movimiento hacia arriba del émbolo del servomotor abra las válvulas de suministro de vapor a sellos y hacia abajo, las cierra.

El aceite de operación arriba y abajo del émbolo 12 de operación del servomotor, depende del requerimiento de vapor de sello y es determinado por el émbolo relevador del regulador de vapor de sellos - el cual es controlado a través de una tobera deflectora que suministra el aumento limitado de aceite de alta presión.

El émbolo relevador controla las partes que admiten aceite de alta presión a cualquiera de las cámaras arriba o abajo del émbolo de operación 12 en respuesta al cambio de presión de vapor de sellos. El movimiento del lado derecho de este émbolo relevador origina un movimiento hacia arriba del émbolo de operación, así mismo, el movimiento del lado izquierdo del émbolo relevador causa el movimiento hacia abajo del émbolo de operación.

En operación normal, este relevador está equilibrado en su posición neutral.

REGULADOR DE PRESION DE VAPOR DE SELLOS.

Este mecanismo es del tipo de tobera con chapaleta y regula el controlador de vapor de sellos automáticamente de tal forma que mantiene una presión establecida (aproximadamente de 29.42 KPa Manométricas) en el sello dentro de los límites estrechos. Lleva a cabo su función mediante el control de los puertos que admiten aceite de alta presión a cualquiera de las cámaras arriba o abajo del émbolo de operación del servomotor en respuesta al cambio de presión del vapor de sellos.

Las partes principales de este regulador son fuelle metálico - sensible a la presión, tobera deflectora con chapaleta, émbolo relevador y palanca ajustable.

La (Fig. VI.2.1) muestra un diagrama del servomotor del controlador de vapor de sellos y del regulador de vapor a sellos.

La presión del vapor de los sellos está conectado a la cámara del fuelle y actúa sobre ésta hacia la derecha. Esta fuerza hacia la derecha contra el fuelle es contra-balanceada por el resorte de la palanca ajustable.

En consecuencia, la presión de vapor mantenida es determinada por la compresión del resorte y puede ser variada por medio del tornillo de ajuste (de la palanca ajustable).

El movimiento del fuelle es transmitido por un eslabonamiento adecuado a la tobera deflectora, la cual recibe una alimentación de aceite de alta presión la que descarga a un chorro de aceite a un par de puertos receptores localizados en la superficie superior del émbolo relevador. Estos puertos están conectados a las cámaras internas derecha e izquierda de las caras del émbolo relevador. La presión diferencial generadora entre estas cámaras actúa para posicionar el émbolo relevador que a su vez controla los puertos de distribución de aceite de alta presión a cada cámara arriba y abajo del émbolo de operación del servomotor del controlador.

La operación es como sigue: si la presión de vapor de sellos llega a ser menor que la presión de ajuste el fuelle se mueve hacia la derecha, lo que a su vez deflexiona la tobera con un movimiento contrario a las manecillas del reloj.

El giro contrario a las manecillas del reloj de la tobera aumenta la presión de aceite en la cámara izquierda del émbolo relevador moviéndolo así hacia el lado derecho. El movimiento hacia el lado derecho del émbolo relevador permite que el puerto abra y distribuya el aceite de alta presión a la cámara inferior del émbolo de operación del servomotor del controlador. Por consiguiente la presión del aceite de operación, abajo del émbolo del servomotor, se incrementa, abriendo así las válvulas del controlador de vapor de sellos lo suficiente para mantener la presión deseada de vapor a sellos.

Si la presión de vapor de sellos, llega a ser mayor que la presión de ajuste, ocurre un movimiento opuesto al anterior, cerrando las válvulas del controlador de vapor de sellos lo suficiente para

mantener la presión deseada.

En la línea de vapor, antes del fuelle, hay una curva que sirve como condensador para que los fuelles estén expuestos a agua. Esto es necesario para proteger el fuelle. Es recomendable llenar la sección del tubo adyacente al fuelle con agua antes de poner en servicio el sistema si es que la tubería fué desarmada y se perdió el agua entrampada durante el paro.

En la tubería de suministro de aceite de alta presión antes de la tobera hay un colador con válvulas de paro para retener las partículas de suciedad acarreadas por el aceite. Es aconsejable eliminar esta suciedad mediante lavado antes de poner en servicio el sistema.

VI.3 SISTEMA DE LUBRICACION DE TURBINAS Y TORNAFLECHA (Fig. VI.

3.1).

El funcionamiento correcto y confiable del sistema de aceite de lubricación del turbogruppo está garantizado por la operación - segura del sistema de bombeo y acondicionamiento de aceite.

El aceite del turbogruppo es de origen mineral el cual además - de cumplir con su función principal de lubricar a las ocho chumace- ras y al reductor del tornailecha, realiza otras funciones las cua- les son;

- Refrigerar las partes lubricadas
- Impedir la formación de herrumbre
- Arrastrar las partículas extrañas

Para que el aceite proporcione un servicio satisfactorio, debe- rá conservarse perfectamente limpio y mantener la viscosidad apropia- da (la viscosidad disminuye al aumentar su temperatura), para lo cual el sistema cuenta con una unidad acondicionadora que, constantemen- te está filtrando y precipitando el aceite, además de ésto, se cuen- ta con dos enfriadores de aceite los cuales mantienen su temperatura al valor requerido.

En el diseño del sistema de aceite de lubricación se ha presta- do especial atención a las disposiciones que reducen a un mínimo - las posibilidades de incendio.

DESCRIPCION DEL EQUIPO PRINCIPAL

TANQUE PRINCIPAL DE ACEITE DE LUBRICACION

El tanque principal contiene el volumen necesario de aceite pa- ra el funcionamiento de los sistemas de control y de lubricación, - siendo su capacidad de 24,000 litros. En la parte superior del tan- que se encuentran montados los motores de la bomba auxiliar de acei- te, la bomba de tornailecha, la bomba de emergencia de C.D. y del -

extractor de vapores de aceite. En el interior del tanque se tiene un par de eyectores de aceite, un filtro, que recibe el retorno del aceite que lubricó a las chumaceras y al tornaflecha, y las bombas auxiliar, tornaflecha y de emergencia de C.D.

Las líneas de aceite que llegan al tanque principal son las siguientes:

- Retorno del acondicionador
- Dren del extractor del mismo tanque
- Venteo lado aceite de cada enfriador
- Línea salida del enfriador aceite a chumaceras
- Retorno de aceite lubricante de chumaceras
- Línea descarga de bomba principal de aceite

Las líneas de aceite que salen del tanque principal son las siguientes:

- Línea succión del extractor de vapores de aceite.
- Línea de respaldo a la unidad de sellos de aceite de alta presión.
- Línea de respaldo a la unidad de sellos de aceite de baja presión.
- Línea de aceite de lubricación a enfriadores.
- Líneas dren del tanque.
- Línea al sistema de control de aceite A.P.
- Línea de succión a bomba principal de aceite.
- Derrame de nivel de aceite al acondicionador.

Una de las funciones del extractor de vapor de aceite del tanque principal es mantener un pequeño vacío para evitar la fuga de vapores de aceite hacia los sellos del rotor y ventear hidrógeno que se pudiera mezclar con el aceite.

ACONDICIONADOR DE ACEITE.

Este equipo es una unidad provista para la continua filtración y acondicionamiento del aceite del turbogenerador.

Consiste, en primer término, de un compartimiento de precipitación compuesto por charolas y rejillas (Fig. VI.3.2) que efectúan la separación del agua de aceite; un compartimiento equipado con bolsas de filtración las cuales detienen las partículas sólidas y en último término, cuenta con un filtro a presión que es removible para hacerle limpieza. Cuando se satura se pasa el aceite por el desvío del filtro de la línea que retorna el aceite purificado al tanque principal. La línea de derrame del nivel de aceite del tanque principal al tanque purificador tiene una mirilla por la cual se puede observar el paso de aceite para verificar, así, físicamente el flujo. El flujo de este aceite se regula con la válvula de flotador.

El extractor del tanque purificador sustrae y desaloja los vapores de aceite a la atmósfera, formando así, un ligero vacío en la parte superior.

La bomba de circulación del depósito del acondicionador proporciona al aceite la presión necesaria para pasarlo a través del filtro y para retornarlo al tanque principal.

Esta bomba arranca y para automáticamente cuando se tiene alto y bajo nivel respectivamente en el depósito de aceite.

La unidad acondicionadora tiene una tobera para el derrame y expulsión del agua en el compartimiento de precipitación.

En la (Fig. VI.3.2) del sistema de purificación de aceite se encuentran las secciones del sistema que son: purificador, precipitador y tanque de almacenamiento.

BOMBA PRINCIPAL DE ACEITE.

La (Fig. VI.3.3) muestra el ordenamiento del impulsor de la bomba principal de aceite y del impulsor de aceite del gobernador, localizados en el eje corto de la turbina de alta presión, entre el cojinete de empuje y el mecanismo de disparo por sobre velocidad.

El impulsor de la izquierda es de la bomba principal de aceite.

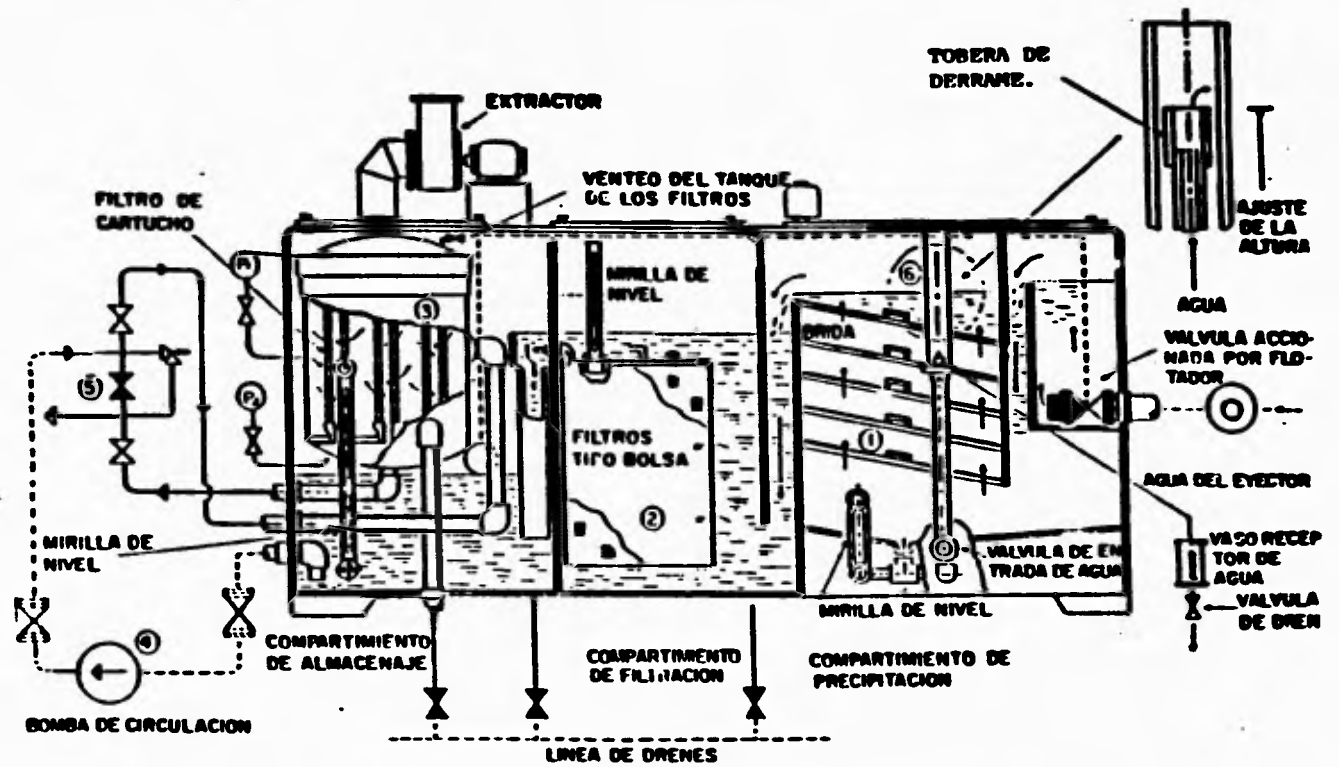


Fig. VI.3.2 ACONDICIONADOR DE ACEITE

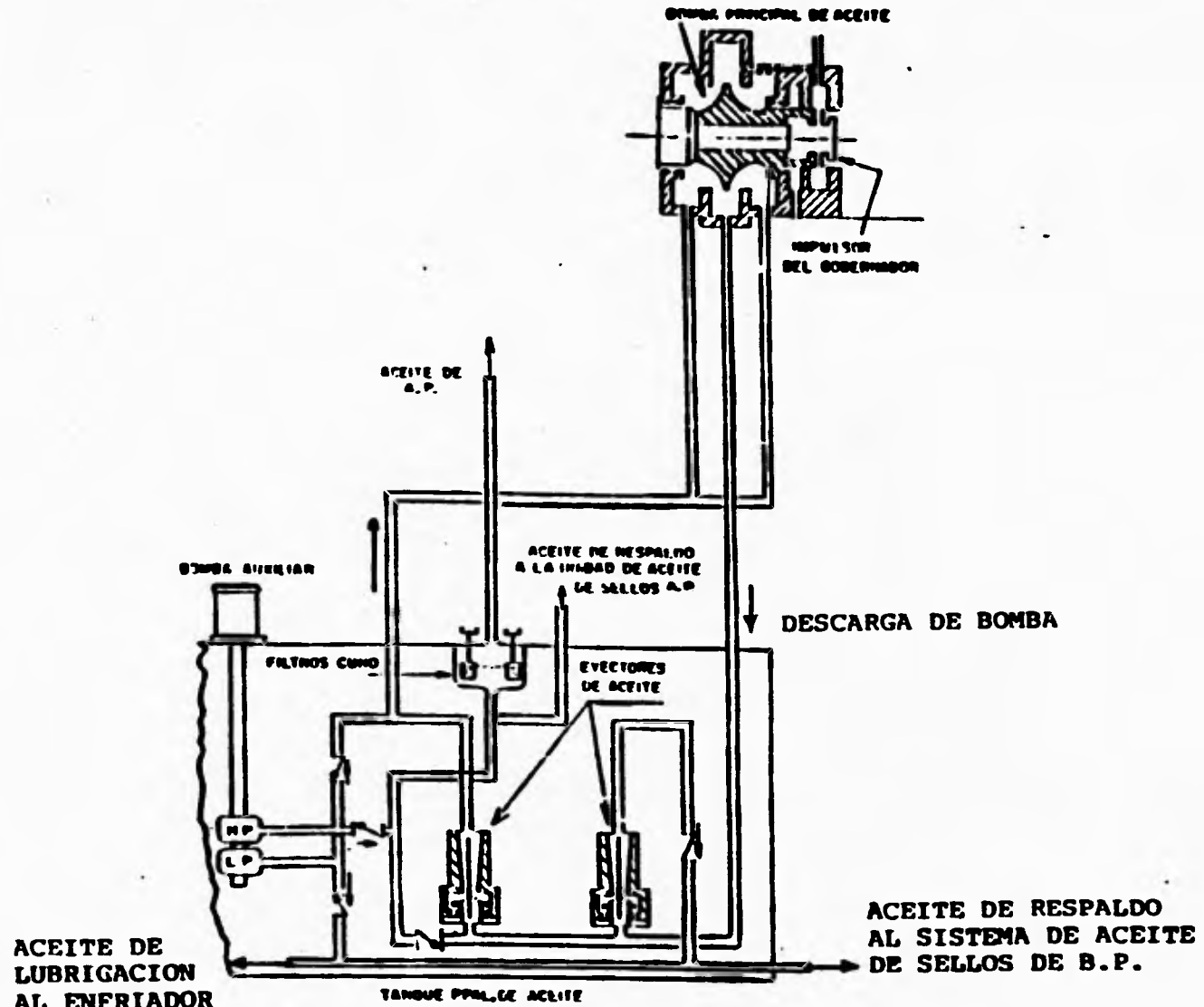


FIG.VI.3.3 : CONEXION DE LA BOMBA PRINCIPAL DE ACEITE CON LOS EYECTORES

Esta es del tipo centrífugo convencional y descarga a una presión de 2.0 a 2.5 MPa aproximadamente y con una capacidad de 4,500 - litros por minuto a una velocidad normal de 3,600 R.P.M. con una presión de succión de 70 a 300 KPa aproximadamente. Este impulsor no es autocebable. Mientras la unidad está en operación a velocidad nominal, la succión de la bomba principal de aceite es suministrada por un eyector que utiliza aceite de alta presión del impulsor de la misma bomba principal (Fig. VI.3.4). Durante los arranques, la succión de este impulsor es alimentado por la bomba - auxiliar de aceite (impulsor de baja presión).

El impulsor del gobernador (Fig. VI.3.4) está formado de un cuerpo hueco cilíndrico con una serie de tubos insertados - radialmente.

BOMBA AUXILIAR DE ACEITE DE C.A.

La (Fig. VI.3.5) muestra la bomba de aceite auxiliar - tipo centrífugo, de eje vertical e impulsada por motor eléctrico de C.A., la cual se usa para suministrar los requerimientos de aceite de control de alta presión y de aceite de lubricación a cojinetes y tornaflecha durante los períodos de arranque y paro del turbogenerador, cuando la presión de descarga de la bomba principal de aceite es demasiado baja.

La bomba auxiliar de aceite entra automáticamente en servicio, si la presión de aceite de lubricación cae abajo de 78 KPa, valor al que está ajustado su interruptor de presión.

El motor de esta bomba está montado sobre el tanque principal de aceite, encontrándose sus impulsores de alta y baja presión inmersos en el nivel mínimo de aceite. Este arreglo asegura un cabezal de succión positiva y elimina la necesidad de cebadura de la - bomba. El impulsor de alta presión tiene una capacidad de 1350 L.P.M. y el de baja presión es de 2780 L.P.M. La potencia del motor es de 160 KW.

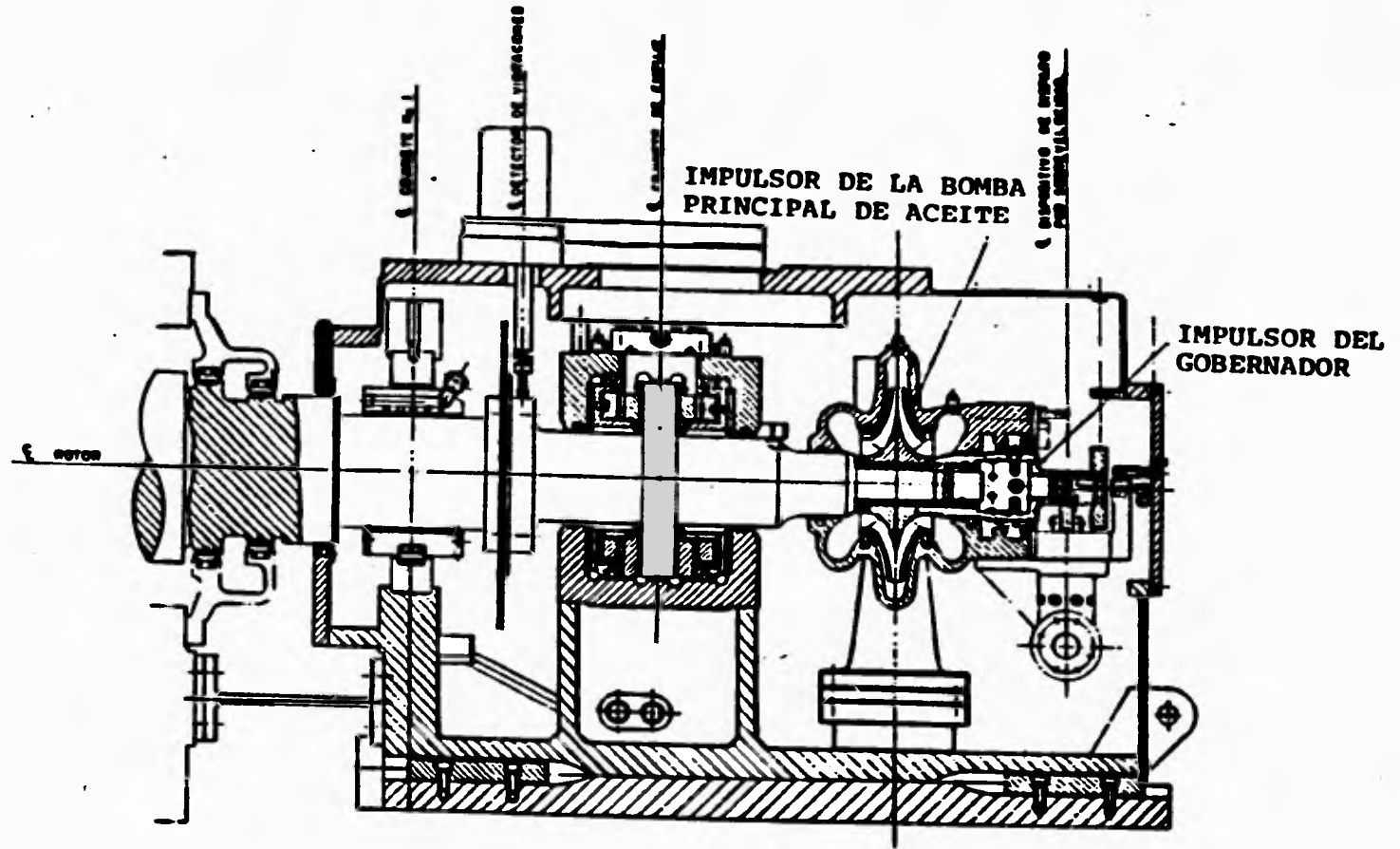


FIG: VI. 3. 4 SECCION AXIAL DEL PEDESTAL DE EMPUJE Y BOMBA PPAL. DE ACEITE.

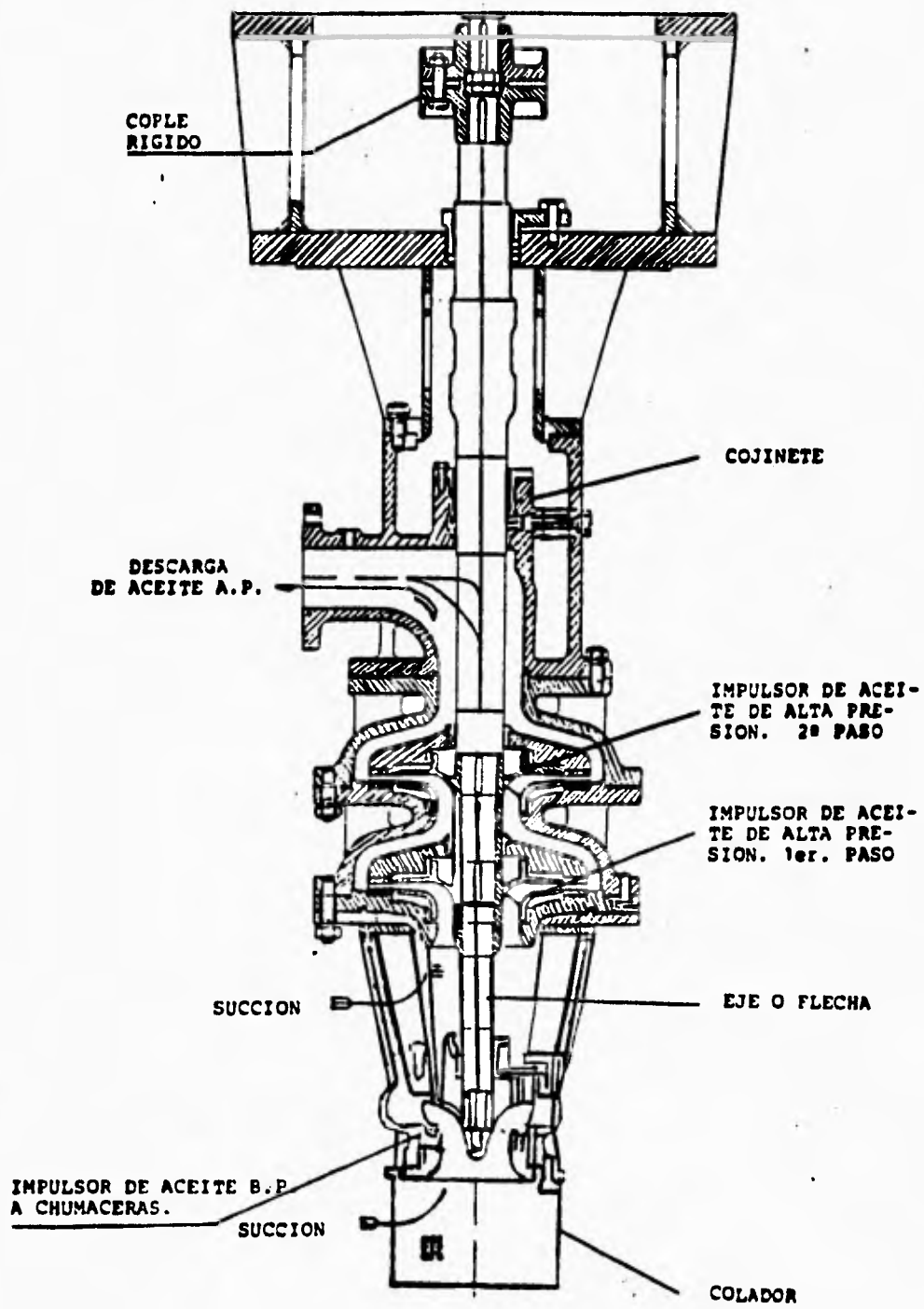


FIG. VI. 3. 5 BOMBA AUXILIAR DE LUBRICACION.

BOMBA DE LA TORNAFLECHA

La (Fig. VI.3.6) muestra la bomba de aceite tornaflecha, de tipo centrífugo, de eje vertical e impulsada por motor eléctrico de C.A., la cual se utiliza para suministrar el aceite al sistema de lubricación cuando la turbina está en tornaflecha o durante los períodos de arranque y paro del turbogenerador.

Esta bomba también arranca en automático si la presión de aceite en el sistema de lubricación cae abajo de 68 KPa, valor al cual está ajustado su interruptor de presión.

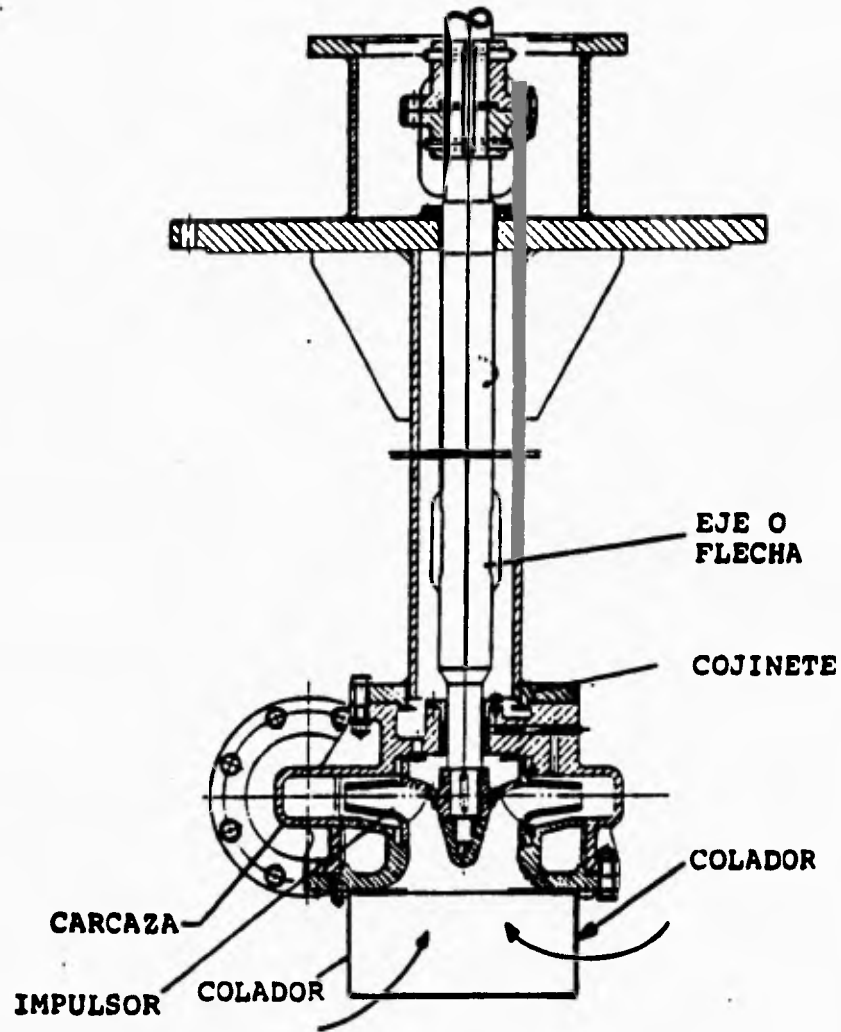
El motor de esta bomba está montado sobre el tanque principal de aceite, encontrándose su impulsor inmerso en el nivel mínimo de aceite. Este arreglo garantiza un cabezal de succión positiva y elimina la necesidad de cebadura de la bomba. Esta bomba suministra un flujo de 2,710 L.P.M., y el motor tiene una potencia de 22 KW.

BOMBA DE EMERGENCIA DE C.D.

La (Fig. VI.3.7) muestra la bomba de aceite de emergencia que es del tipo centrífugo, de eje vertical e impulsada por motor eléctrico de C.D., que se utiliza para suministrar aceite al sistema de lubricación en una emergencia, cuando la presión de aceite de lubricación cae abajo de 58 KPa debido a que la bomba auxiliar y tornaflecha fallaron para arrancar. La bomba de emergencia entra en servicio automáticamente por señales de baja presión de lubricación, señal que es detectada por el interruptor de presión de dicha bomba.

En caso de falla de la corriente alterna, la bomba de emergencia puede proteger la turbina contra danos en los cojinetes gracias a que está impulsada por un motor de corriente directa el cual se alimenta del bus de 125 Volts de C.D.

El motor de esta bomba es a montado sobre el tanque principal de aceite, encontrándose su impulsor inmerso en el nivel mínimo de



BOMBA DE ACEITE DE LUBRICACION DEL TORNAFLECHA

Fig. VI.3.6

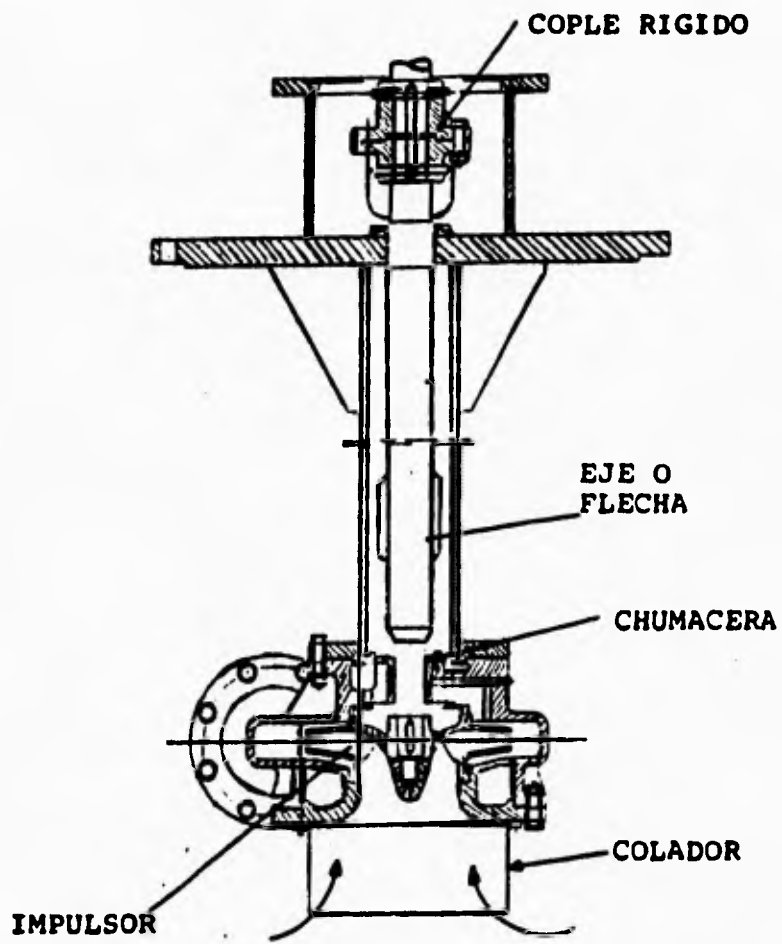


FIG. 7-8. BOMBA DE ACEITE DE LUBRICACION DE EMERGENCIA (C.D.)

aceite. Este arreglo asegura un cabezal de succión positiva y elimina la necesidad de cebar la bomba. Esta bomba suministra un flujo de 2,710 L.P.M. y el motor tiene una potencia de 22 KW. Esta bomba es idéntica a la bomba de tornaflecha, la diferencia se tiene únicamente en el motor que es de C.D.

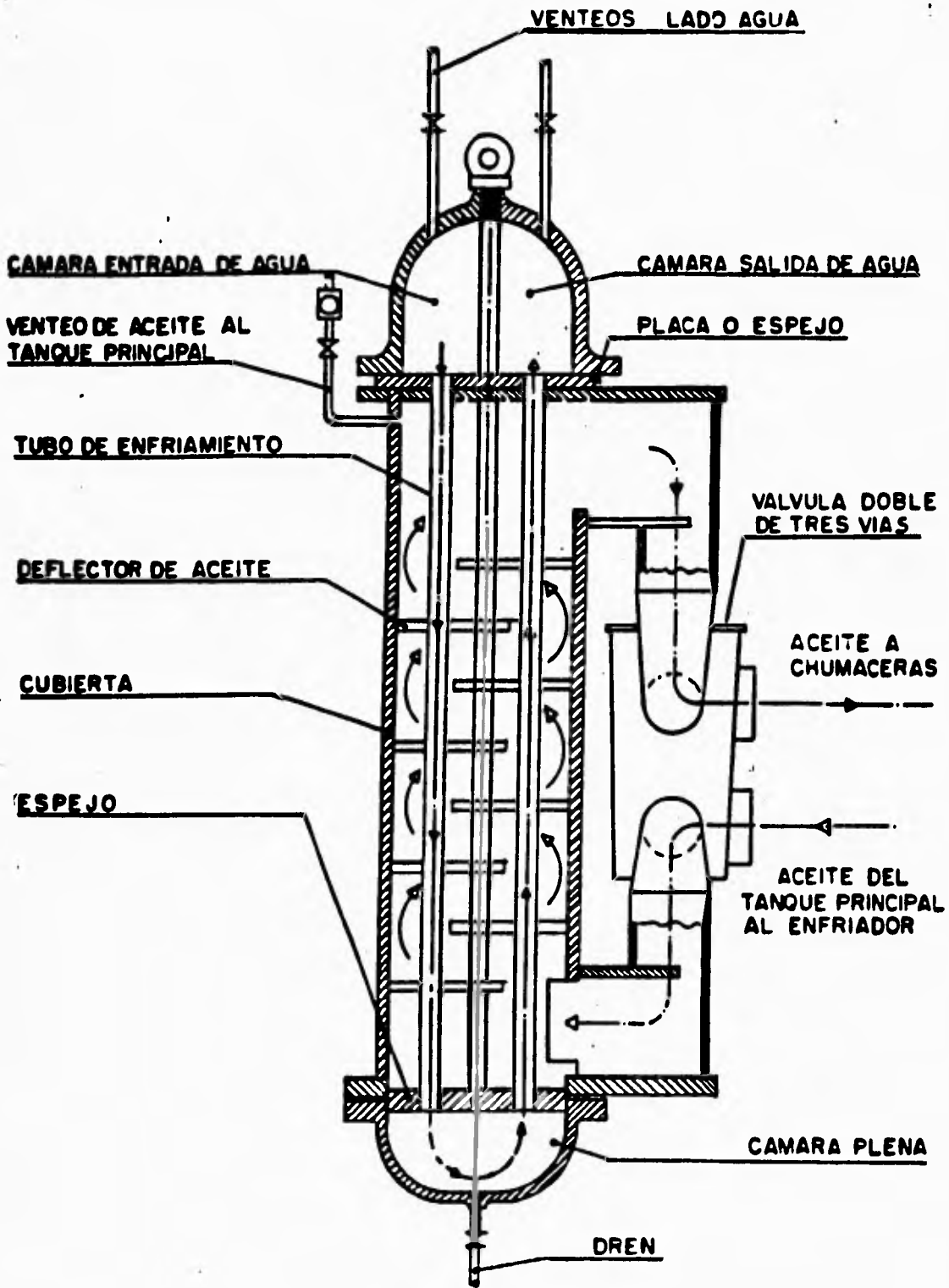
ENFRIADORES DE ACEITE

Los enfriadores de aceite según se muestra en la (Fig. VI.3.8), son del tipo superficie (de cubierta y tubos), diseñados cada uno para el 100% de capacidad y para montaje en posición vertical encontrándose a un lado del tanque principal de aceite.

Los circuitos de aceite están conectados con válvulas dobles (duplex), tipo macno en paralelo, las cuales permiten sacar un enfriador o utilizarlos en paralelo, manteniendo la temperatura del aceite dentro de su valor de operación.

El aceite de lubricación fluye dentro del enfriador haciendo un recorrido de un paso, por el lado exterior de los tubos de enfriamiento y a todo lo largo, pasando por varios deflectores para aumentar el intercambio de calor (Fig. VI.3.8). El número de deflectores es determinado por: la caída permisible de presión, la cantidad de aceite manejado, la viscosidad del mismo, el número de tubos, y el tamaño y longitud de la cubierta. Por el lado de aceite, en la parte superior del enfriador, se tiene un venteo por mirilla, el cual sirve para expulsar el aire del aceite, con la mirilla se verifica que el enfriador esté lleno. Este venteo de aceite descarga al tanque principal.

El agua de enfriamiento que entra a la cámara de agua es controlada por una válvula neumática de control que opera a una señal de temperatura del aceite a la salida del enfriador del control local (Fig. VI.3.9). De la cámara de entrada el agua de enfriamiento fluye por la parte interior de los tubos a la cámara plena de donde el flujo del agua es retornado por los tubos del segundo paso a la cámara de salida, por lo cual se le llama enfriador de dos



ENFRIADOR DE ACEITE

Fig. VI. 3. B

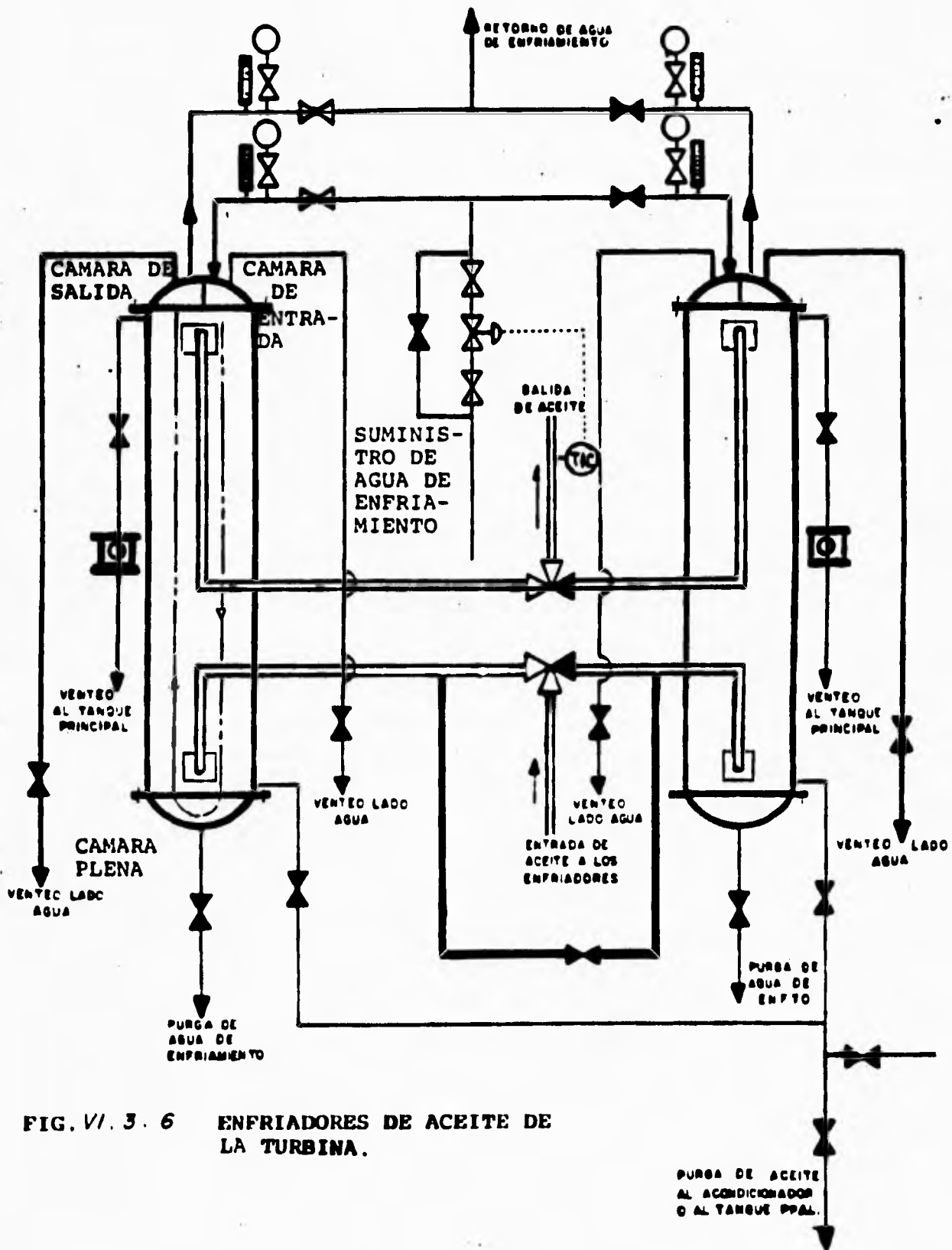


FIG. VI. 3. 6 ENFRIADORES DE ACEITE DE LA TURBINA.

pasos de agua. Tanto la cámara de entrada, como la de salida lado agua cuentan con su respectivo venteo, la cámara plena tiene su drenaje en la parte más baja para drenar la sedimentación de lodos del agua de enfriamiento (agua de circulación).

La expansión y la contracción térmica, por los cambios de temperatura, es absorbida por la flotación de la placa o espejo de la cámara plena ya que la placa o espejo superior está fija.

VALVULA DE TRANSFERENCIA DE TRES VIAS DEL ENFRIADOR DE ACEITE.

La (Fig. VI.3.10) muestra la operación de la válvula de doble circuito de tres vías, tipo macho para la aplicación de los circuitos de aceite (entrada y salida) de los enfriadores.

Los enfriadores de aceite están diseñados con flujos duplicados de aceite, los cuales están conectados en paralelo con la válvula de tres vías, para poder mantener una temperatura estable en el aceite a chumaceras sin interrupciones en el suministro de aceite (Fig. VI.3.11), al intercambiarlos.

La válvula doble consiste de dos elementos (entradas y salidas) de tres vías en un cuerpo y tapón macho común. El tapón macho está unido al vástago de la válvula y ^{en} empotrado en el cuerpo de la misma. El cuerpo tiene dos pares de puertos de tres vías superior e inferior los cuales están divididos uno del otro por una partición horizontal del tapón de la válvula, facilitando el cambio simultáneo, por un movimiento giratorio entre los dobles flujos de aceite, por medio de la apertura total o parcial de cada par de válvulas de entrada de aceite (parte inferior) y salida de aceite (parte superior) sin afectar o cambiar la presión de aceite y sin interrupción del suministro a chumaceras.

Los orificios de venteo-drenaje, barrenados en la partición horizontal del tapón o asiento entre las tres vías superiores e inferiores, facilitan el venteo y el drenaje de la válvula que está cerrada. Esto hace posible la eliminación de riesgos graves y la in-

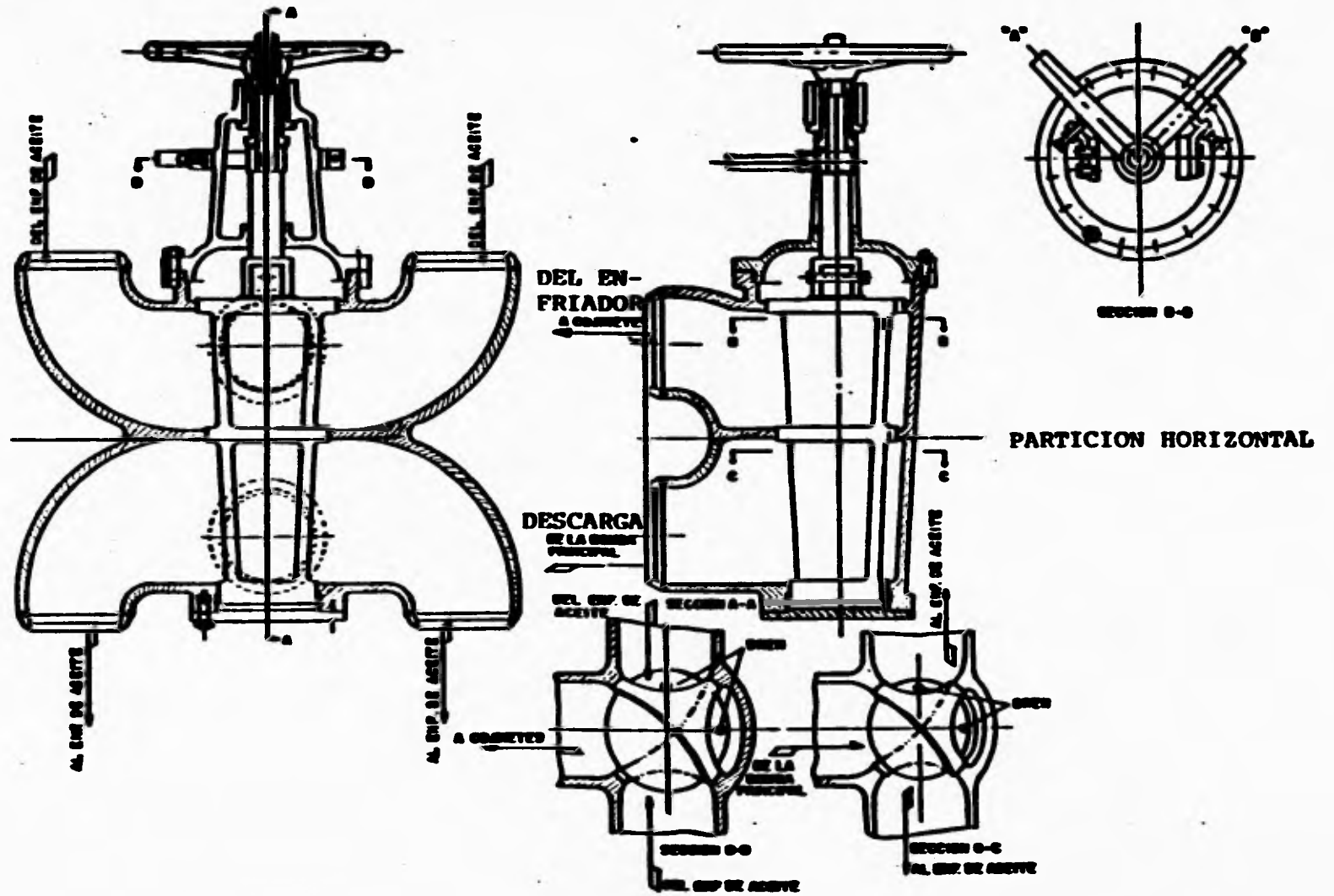
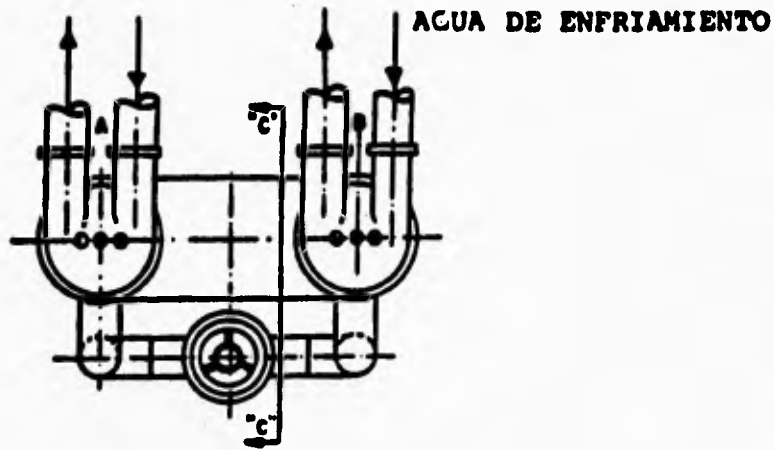
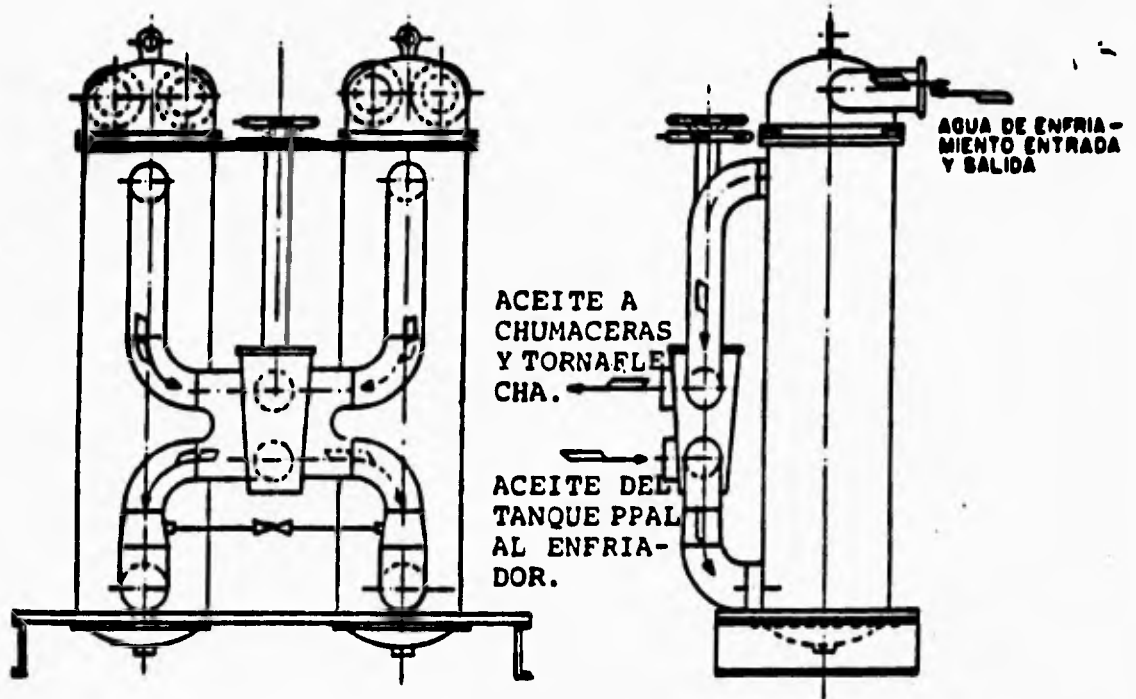


Fig. VI. 3.10 VALVULA DE TRES VIAS DEL ENFRIADOR DE ACEITE



VISTA DE PLANTA



VISTA DE FRENTE

VISTA LATERAL
SECCION 'C-C'

FIG. VI. 3.11

ENFRIADOR DE ACEITE Y VALVULA DE TRES VIAS

certidumbre comunmente implicada cuando uno de los enfriadores se pone fuera de servicio para hacerle limpieza.

CHUMACERAS

La operación de las chumaceras del turbogenerador depende de la formación de la cuña de aceite que se genera al girar la flecha, lo que evita el contacto de metal con metal entre la flecha y el cojinete; el huelgo del diámetro del cojinete y la flecha y la viscosidad del aceite son determinantes en la característica de la cuña de aceite.

Se verá someramente el principio fundamental que da lugar a la formación de la cuña de aceite o película de aceite en el claro libre entre la chumacera y el muñón.

El diámetro del cojinete es mayor que el de la flecha, los huelgos son usualmente de una milésima de pulgada, de diámetro, de la flecha del rotor, por eso, cuando el rotor está inmóvil conserva la posición que se muestra en la (Fig. VI.3.12) en donde claramente se puede apreciar el contacto del metal del muñón con el metal antifricción (babbitt) del cojinete y que la cuña de aceite está reducida a cero. Si se suministra aceite de lubricación en estado de reposo ($RPM=0$) el contacto de metal del eje y de la chumacera continuará sin cambio.

Cuando el rotor empieza a girar, el muñón tenderá a erguirse y gracias a la viscosidad del aceite y a la velocidad del giro de la flecha, el aceite lubricante se adhiere al muñón, arrastrándose, (el aceite) hacia el claro del cojinete y flecha formando así, la cuña o película.

La cuña de aceite entre la flecha y el cojinete disminuirá y se hará más angosta, en la parte inferior con un incremento correspondiente de la presión. Además, la máxima presión de aceite se alcanza casi a la entrada del huelgo mínimo. Ahora bien, a causa de las diferentes presiones del aceite en el huelgo, el eje flota sobre la

FIG. VI.3.13 LUBRICACION Y FORMACION DE LA CUÑA DE ACEITE EN CHUMACERA.

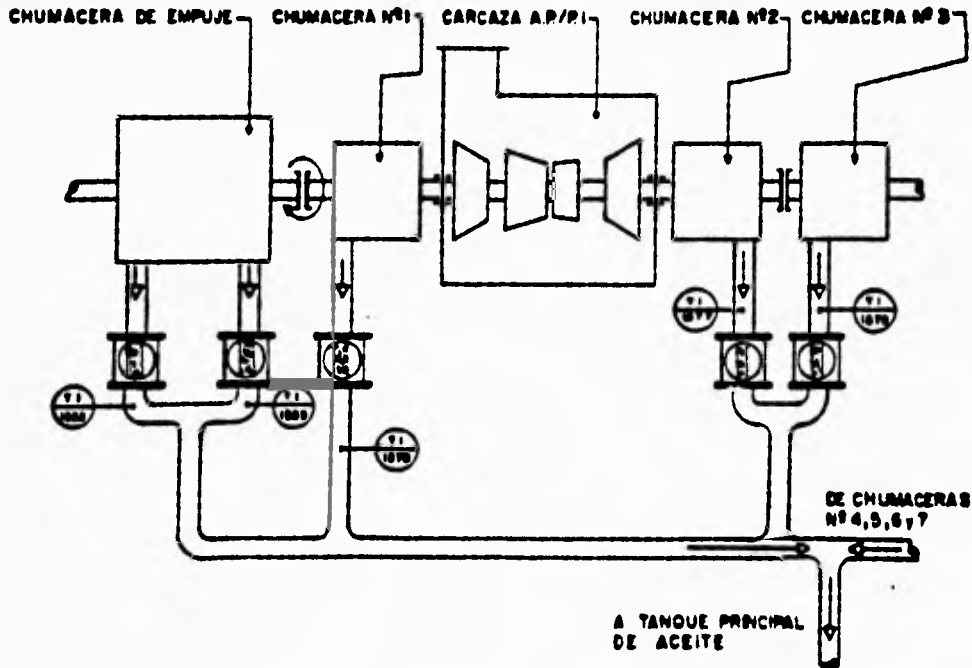
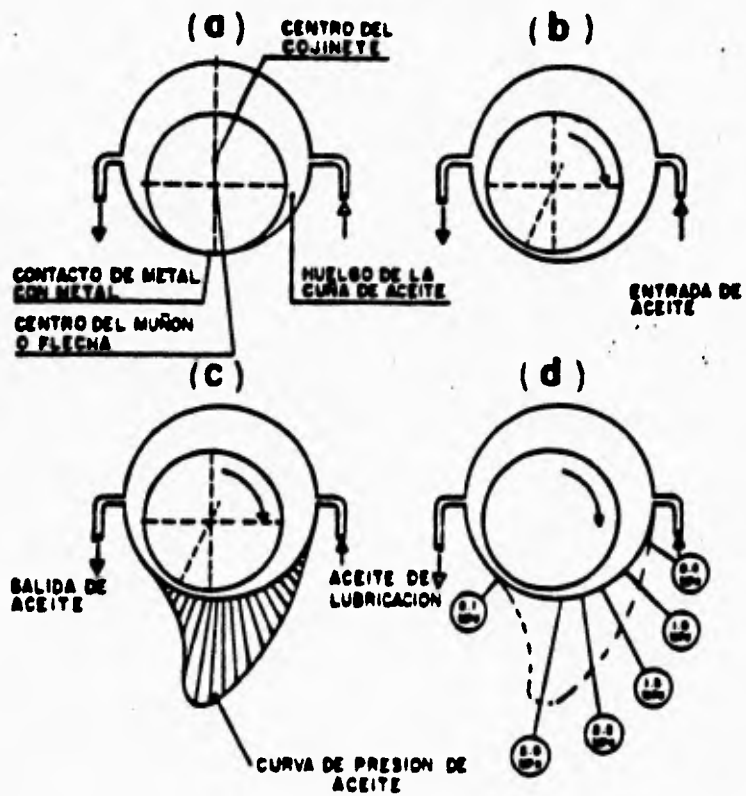


FIG. VI.3.13 MIRILLAS DE FLUJO DE ACEITE EN DRENES DE CHUMACERAS

película de aceite desplazándose a la izquierda . Ocupando la posición que se muestra en la (Fig. VI.3.12).

El espesor de la cuña de aceite aumentará si la viscosidad del aceite se incrementa, así como también, si aumentan las revoluciones por minuto del rotor, Por esta razón cuando el turbogenerador está girando en tornaflecha, la temperatura del aceite lubricante deberá ser de 30°C (a más alta temp. del aceite su viscosidad baja). Se consideran temperaturas normales de operación en cada una de las chumaceras, los valores siguientes:

No.	CHUM.	RANGO DE TEMP. °C
1		54 a 58
2 y 3		58 a 60
4 y 5		60 a 64
6 y 7		49 a 54
EMPUJE		MENOR DE 71°C
EMPUJE		ALARMA 77°C

La temperatura de aceite a chumaceras, en operación normal, abajo de 38°C puede producir pérdidas por fricción y operación inestable de los cojinetes (altas vibraciones) conocida como latigazo (Whipping o Whirling).

Por otro lado, deben vigilarse constantemente las altas temperaturas de aceite y el flujo adecuado en los drenes de las chumaceras (Fig. VI.3.13) la temperatura de 71°C se considera la máxima temperatura en el cojinete más caliente para una operación continua. Las temperaturas arriba de 77°C se consideran alarmantes, ya que éstas, hacen que la viscosidad del aceite disminuya a tal grado que la cuña de aceite se hace incompleta en los cojinetes.

Para comprender la distribución de los diferentes valores de presión de la curva en la (Fig. VI.3.12) se supondrá que se conectan radialmente varios manómetros a través de barrenos estratégicamente espaciados en el cojinete como en la (Fig. VI.3.12).

Al tomar la lectura del valor de la presión en cada manómetro, se nota que la presión de la cuña de aceite aumenta a medida que el claro se va cerrando hasta alcanzar la magnitud mayor de la presión, casi a la entrada de la parte más angosta del claro de la película de aceite. Después del claro más cerrado se tiene una zona donde la presión se abate hasta aproximarse casi a la presión atmosférica. Con estos diferentes valores de presión se forma la curva de presión de aceite. (Fig. VI.3.12).

De este modo se puede decir que la fricción de metal con metal se tiene solo al inicio del giro del rotor.

DESCRIPCION FUNCIONAL.

Antes del arranque de la unidad se debe verificar el nivel de aceite del tanque principal, este debe indicar un valor arriba del normal. Enseguida se debe preparar la bomba de lubricación de tornaflecha, del turbogenerador para ponerla en servicio con su interruptor que se encuentra en la consola de control. Puesta en servicio la bomba de lubricación del tornaflecha del turbogruppo, se debe verificar la presión en la descarga de la misma, así mismo se debe verificar que exista flujo a través de cada una de las mirillas de las chumaceras. La temperatura del aceite de lubricación, mientras la unidad se encuentra en tornaflecha no debe incrementarse arriba de 30 °C.

Para poner en servicio el sistema de vapor de sellos de la turbina, será necesario hacer cambio de bomba de lubricación, para lo cual se pondrá en servicio la bomba auxiliar de lubricación de C.A. la cual aparte de suministrar aceite de lubricación, suministra aceite de alta presión que es el requerido en el regulador de vapor de sellos. Enseguida se pondrá fuera de servicio la bomba de lubricación de tornaflecha, quedando su interruptor en posición "automático". Si la velocidad de la turbina se incrementa arriba de 400 R.P.M., entonces el ajuste de la temperatura de aceite a chumaceras será

40 °C.

La bomba auxiliar además de suministrar aceite para el regulador de vapor de sellos, suministra el aceite de succión de la bomba principal.

Cuando el turbogrupo se encuentra a una velocidad de 3,600 R.P.M. la bomba principal de aceite suministra el aceite de alta presión y aceite de control, así como el de lubricación, será entonces cuando se pone en fuera de servicio la bomba auxiliar. Al hacer esta maniobra se debe verificar que la presión en el aceite así como en el aceite de lubricación no sufra alteración alguna. La bomba de emergencia de C.D., se utiliza en caso de disparo de la unidad por falta de potencial de C.A., o en su defecto, por baja presión de aceite de lubricación en caso de falla de las otras bombas.

Durante la operación normal de la turbina, la bomba principal de aceite de descarga un flujo de aceite de alta presión que se dirige al tanque principal de aceite, donde parte de este flujo pasa a través de dos eyectores de aceite. Al pasar este flujo de aceite por los eyectores, succionan un flujo adicional de aceite del tanque principal, de tal forma que los eyectores descargan un flujo de baja presión, pero de mayor volumen, adecuado para satisfacer las necesidades del sistema. Este flujo a continuación se hace pasar por el enfriador que se encuentra en servicio, donde intercambia calor con el agua de enfriamiento que circula por el interior de los tubos, de tal forma que al salir de él, se tenga una temperatura aproximadamente de 40°C. En seguida el aceite llega a un cabezal de distribución de donde se alimenta a las siete chumaceras soportes, la chumacera de empuje y **altornaflecha**. En la línea de suministro de aceite al tornaflecha, se tiene una válvula solenoide de bloqueo que abre cuando la velocidad de la turbina disminuye de 600 R.P.M.

Después que el aceite lubricó el equipo antes mencionado, este se colecta en un cabezal de descarga para de ahí ser conducido al tanque principal de aceite, donde es descargado a través de un colador de malla.

La descarga de aceite de las chumaceras N^o.5 y 6, que corresponden al generador, llegan al tanque desgasificador con el fin de expulsar a la atmósfera el hidrógeno que haya podido mezclarse con el aceite, lo cual se logra con el extractor que se encuentra instalado en dicho tanque.

La parte del flujo de aceite de la descarga de la bomba principal que no pasa por los eyectores de aceite se divide en dos flujos uno de ellos para el respaldo de alta presión de aceite de sellos del generador y el otro que pasa a través de los filtros cunco para el sistema de control de la turbina ya que se requiere un filtrado más exhaustivo.

El aceite del tanque principal requiere ser filtrado y acondicionado constantemente para mantener sus propiedades lubricantes, para lo cual se dispone de una línea que une por diferencia de nivel al tanque principal con la unidad acondicionadora. La línea tiene una válvula de flotador para controlar la entrada de aceite en función del nivel que se tenga en ese momento.

El aceite que llega al tanque purificador primero descarga en el compartimiento de precipitación, donde el agua que contiene es separada por diferencia de densidades con la ayuda de charolas y rejillas.

El agua es finalmente drenada al exterior por medio de la tobera del tubode derrame. A continuación, el aceite ya libre de agua pasa a la sección de filtrado donde se hace pasar por varias bolsas de filtración, en donde, quedan atrapadas las partículas sólidas que pudieran estar en el aceite.

Enseguida, el aceite pasa al compartimiento de almacenaje donde se acumula. La bomba de circulación de aceite succiona el aceite almacenado, (en función del nivel que se tenga arrancará o parará la bomba), imprimiéndole la suficiente presión para forzarlo a pasar por el filtro que se encuentra dentro del depósito. Este filtro se encarga de eliminar las impurezas que pudiera contener aún aceite y así hacerlo retornar al tanque principal con lo que se completa su ciclo de purificación.

El tanque principal de aceite dispone de un flotador a la altura de su nivel máximo y mínimo los cuales hacen sonar una alarma en la sala de control por alto o bajo nivel.

Además, se cuenta con una unidad de almacenamiento que consta de un tanque de aceite limpio, un tanque de aceite impuro y dos bombas de transferencia con sus líneas de interconexión.

La bomba de transferencia N^o 1 succiona del cabezal de drenes de aceite razón por la cual puede trasegar de los enfriadores, del tanque principal, del acondicionador o del tanque de aceite impuro al tanque de aceite limpio, a la succión de la bomba de transferencia N^o 2 o a la línea del dren.

El tanque de aceite limpio tiene conexiones para conectar el centrifugador de aceite. El tanque de aceite impuro (contaminado) tiene conexiones parecidas al del aceite limpio, razón por la cual solo están sus líneas principales en la (fig. VI.3.1⁴).

La bomba de transferencia N^o 2 succiona del tanque de aceite limpio y de la descarga de la bomba N^o 1 para evitarlo a la línea de retorno del acondicionador al tanque principal o al derrame del tanque principal al acondicionador .

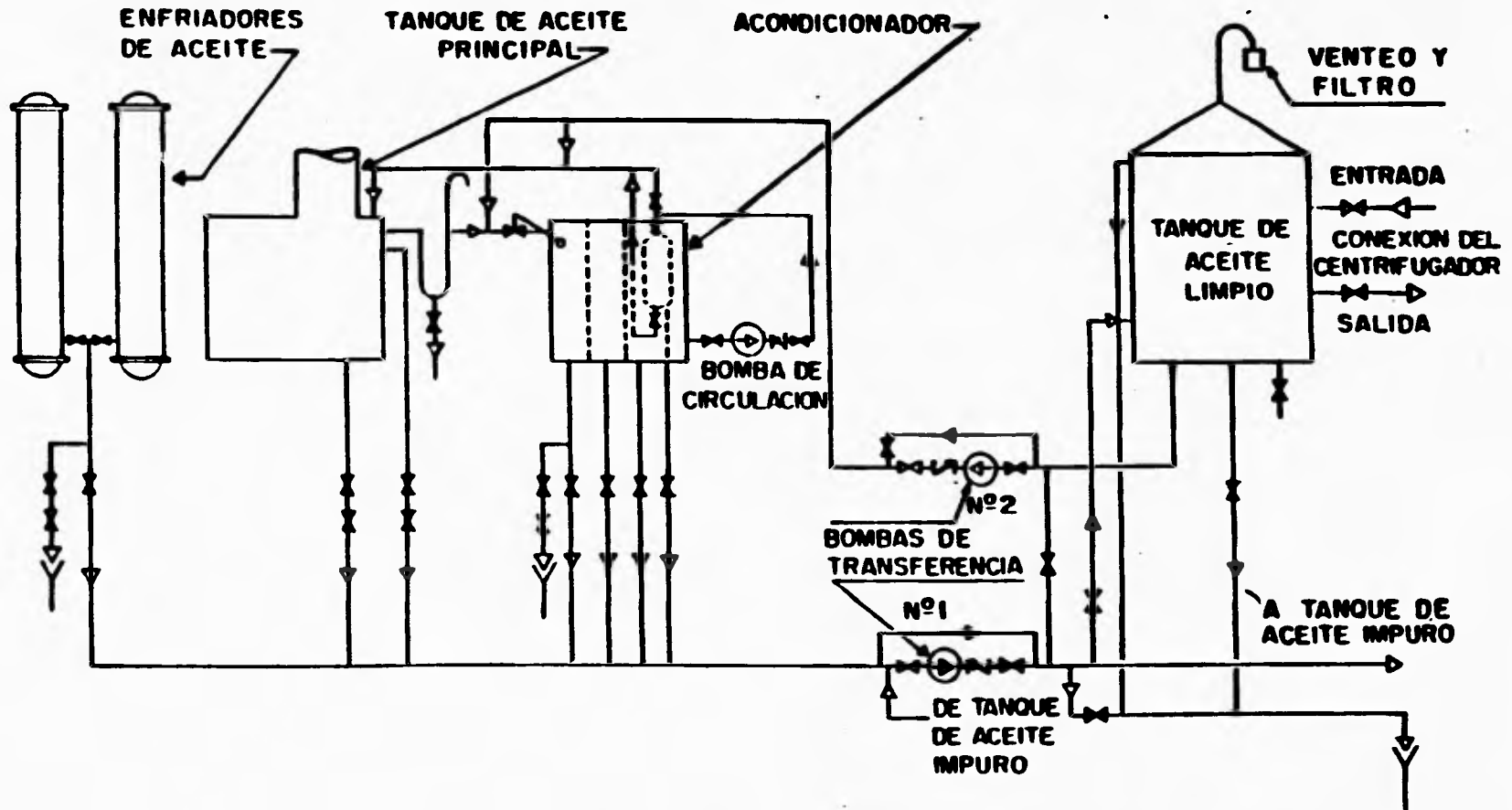


FIG. VI.3.14. DRENES Y TRANSFERENCIA DE ACEITE LUBRICANTE

SUPERVISORIOS DE TURBINAS.

Durante la operación de las modernas turbinas de vapor se requiere mucha mayor supervisión de las mismas por parte de los operadores puesto que los cambios de las condiciones de vapor (presión, flujo y temperatura dentro de la turbina ocasionan que los huelgos, la fuerza de empuje, las vibraciones y la expansión térmica de los componentes sean afectados. Un conjunto de instrumentos supervisorios suministran la información necesaria para indicar y verificar cualquier evolución anormal en todas las condiciones de operación. Con el continuo incremento de las condiciones de vapor a la entrada de la turbina (presión y temperatura), se depende más de los instrumentos supervisorios para lograr una operación exitosa de los turbogeneradores.

El continuo desarrollo en tamaño y complejidad de las unidades termoeléctricas que utilizan combustibles fósiles, ha fomentado que éstas manejen mayores presiones y temperaturas, por lo que el uso del recalentador para estas grandes unidades, tiende a estandarizarse.

Con el uso del recalentador, a las altas temperaturas que se manejan, no limitan el diseño de la admisión ni de las primeras secciones de la turbina, pero sí limitan las secciones subsiguientes; por lo que en estas grandes unidades turbogeneradores se ha tenido que mejorar la capacidad térmica de los materiales usados en ellas, con el propósito de minimizar los tiempos de calentamiento y enfriamiento lo cual reduce el consumo de combustible y mejora su eficiencia.

Mejorar la capacidad térmica de los materiales utilizados en la construcción de las turbinas, ha dado mejores resultados que diseñar turbinas del tipo más sofisticado. Con todo esto, el gran tamaño y las severas condiciones térmicas a que se ven sometidas estas turbinas complican enormemente los problemas de construcción y operación de éstas máquinas. Algunos de éstos problemas de operación son por ejemplo los pequeños huelgos que deben mantenerse entre las partes -

estacionarias y rotatorias, cuando éstas giran a velocidades que exceden los 1,600 Km/hr; así como también existen huelgos que deben mantenerse casi iguales, a pesar de que las partes estacionarias y rotatorias se dilatan longitudinalmente, desde las condiciones frías a las de plena carga, unos 26 mm. aproximadamente.

La continua verificación de la condición mecánica de la turbina es responsabilidad de los operadores.

Cualquier cambio insignificante en la operación debe ser observado. Dificultades ligeras de operación dentro de la turbina sinno son detectadas, pueden llevar a serios danos. En muchos casos esos cambios pueden ser de modo gradual y que el operador no advierta que dichos cambios están efectuándose, a menos que un registro continuo esté disponible para análisis posterior. Los operadores son dependientes de los instrumentos que les dirán de las condiciones internas y los previene de cualquier evolución anormal.

En adición a la información obtenida de la familia de instrumentos o indicadores de temperaturas, distribución de presión, etc., hay por lo menos seis factores que son extremadamente importantes en el arranque y operación de la turbina. Existen instrumentos que están disponibles para registrar e indicar las siguientes variables:

- 1.- La excentricidad del rotor cuando arranca.
- 2.- La expansión o contracción de la carcasa de turbina.
- 3.- La expansión diferencial entre las partes rotatorias, y estacionarias.
- 4.- La posición de la flecha relativa a los elementos estacionarios.
- 5.- La magnitud de la vibración de la flecha.
- 6.- Diferenciales de temperaturas.

EXCENTRICIDAD.

Cuando la turbina es parada, el vapor caliente se deposita en la parte media superior de la carcasa manteniendo en estado caliente la parte media superior del rotor, debido a que la otra parte del mismo, tiene influencia de enfriamiento por el condensador principal en forma directa y por los drenes de extracciones y turbina, ésto hace que haya una distribución desigual de temperaturas entre la parte media superior e inferior, lo cual dá como resultado una flexión o excentricidad del rotor de la flecha (Fig. VI.4.1), y con ello la reducción de los huelgos radiales. Para reducir la flexión total, se hace girar el rotor lentamente con el tornaflecha, el cual lo gira de 3 a 4 R.P.M. mientras la unidad es enfriada uniformemente.

Cuando la temperatura del rotor (sección del primer paso) ha descendido hasta 170°C , éste puede ser parado sin que haya riesgo de grandes flexionamientos por distorsión térmica.

El tiempo requerido para que la temperatura del rotor descienda hasta los 170°C , se puede obtener de la curva de enfriamiento del rotor,

Aún cuando el tornaflecha es efectivo en reducir la distorsión total de la flecha, una verificación eficaz debe ser hecha en todos los arranques sin ninguna excepción. Cuando la flexión de la flecha existe, la unidad debe de ser rodada y mantenida a baja velocidad (400 R.P.M.), mientras las partes son uniformemente calentadas y la flecha es enderezada.

Una verificación adicional efectiva en la flecha puede ser hecha con el uso del indicador de carátula colocado en el extremo de la flecha mientras la unidad está en tornaflecha y durante el rodado a baja velocidad. El uso de éste indicador parece muy simple, pero requiere mucha atención del operador quien difícilmente puede reducir el tiempo requerido para la operación de la unidad en tornaflecha.

Es de vital importancia que la flecha sea enderezada antes de llevar la unidad a velocidades más altas. Una alta flexión o excentricidad significa que los huelgos radiales sean reducidos y en una

gran turbina de alta velocidad puede provocar rozamientos antes de alcanzar la velocidad de régimen (3, 600 R.P.M.), y, en la operación con alta velocidad, se provocan tremendos desbalances los cuales pueden causar serios daños en la unidad.

EXPANSION TERMICA.

La expansión térmica de las partes de turbina se inicia con la admisión de vapor para la operación de rodado de la misma, y continúa mientras se está llevando la unidad a velocidad de régimen - - (3,600 R.P.M.) alcanzando un valor máximo cuando la unidad es totalmente cargada (100% carga). La magnitud y variación en la expansión - dependerá en el tipo y tamaño de la turbina; sin embargo para cualquier unidad dada, la expansión seguirá la misma tendencia en cada arranque y ciclo de carga , siempre y cuando la unidad sea cargada en la misma manera y que sus partes se expandan libremente.

Existen dos efectos provocados por la expansión térmica, los cuales están estrechamente asociados.

Uno de los efectos es la expansión de la carcaza. Una indicación o registro de la expansión del cilindro o carcaza medida en el pedestal lado gobernador deberá ser suficiente para una operación adecuada, siempre y cuando que las partes fijas y móviles se expandan en el mismo régimen. Sin embargo, esto no sucede realmente, cuando el vapor es admitido a la turbina, el rotor se calienta más rápido y por lo tanto se expandirá o dilatará antes que la carcaza, dando como resultado una diferencia entre partes fijas y móviles denominada expansión diferencial. La expansión diferencial es el otro efecto de la expansión térmica y de gran importancia para la operación de las turbinas.

El objetivo de medir la expansión carcaza y expansión diferencial es la de supervisar las expansiones libres de los componentes - móviles y estacionarios y preveer que los claros axiales internos de la turbina sean mantenidos. A continuación se verán cada uno con más detalle.

EXPANSION DE CARCAZA

Cuando se arranca la turbina de una condición de estado frío y se lleva a un estado caliente y de carga del 100%, los incrementos de presión, velocidad y temperatura de vapor que se presentan en las carcazas ocasionan que los coeficientes de transmisión de calor se eleven y por lo tanto que éstas se expandan.

La carcaza interna de la turbina de alta presión e intermedia, así como la de baja presión, están soportadas por sus respectivas carcazas exteriores por medio de guías longitudinales y transversales las cuales conducen su libre expansión (expansión volumétrica).

En la (Fig. VI.4.2) se muestra la placa base y la carcaza base exterior de la turbina de baja presión, siendo esta última fijada a la placa base por guías transversales al eje (D) y por guías axiales (E) que permiten la posible expansión longitudinal manteniendo el alineamiento de la carcaza. Como se puede observar en las (Figs. VI.4.3, VI.4.4), uno de los extremos de la carcaza exterior de la turbina de alta presión e intermedia lado generador está sujeto a la carcaza base de la turbina de baja presión, por lo tanto las carcazas se expandirán longitudinalmente en dirección opuesta a este punto. El otro extremo de la carcaza exterior de la turbina de A.P. e intermedia se encuentra acoplada al pedestal del gobernador y éste último está diseñado para que se mueva libremente en dirección axial a lo largo de guías longitudinales lubricadas. SI, POR ALGUNA RAZON, EL EXTREMO LIBRE DE LA CARCAZA DE TURBINA NO PUEDE DESLIZARSE LIBREMENTE A LO LARGO DE LAS GUIAS AL EXPANDERSE ESTA, SE GENERAN GRANDES ESFUERZOS QUE PUEDEN OCASIONAR SERIOS DANOS A LA UNIDAD.

EXPANSION DIFERENCIAL.

Cuando se admite vapor a turbina, las partes rotativas y fijas se expandirán. Como ya se mencionó anteriormente, si éstas se dilataran en el mismo régimen no existiría ningún problema de expansión diferencial. Pero, por razón de geometría, masa y por la movilidad del rotor hace que su coeficiente de transmisión de calor sea más grande que el

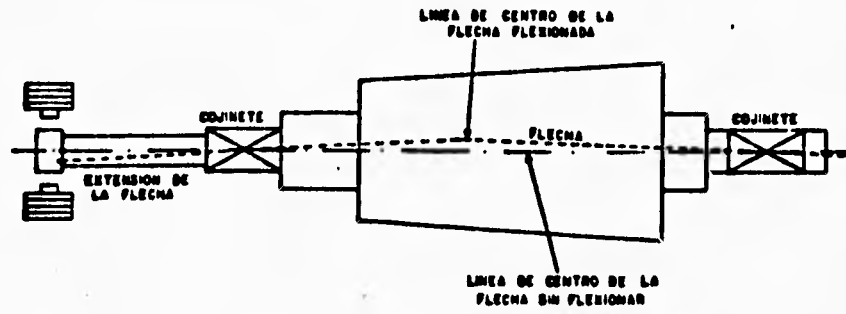


Fig. VI. 4. 1 EXCENTRICIDAD DE LA FLECHA .

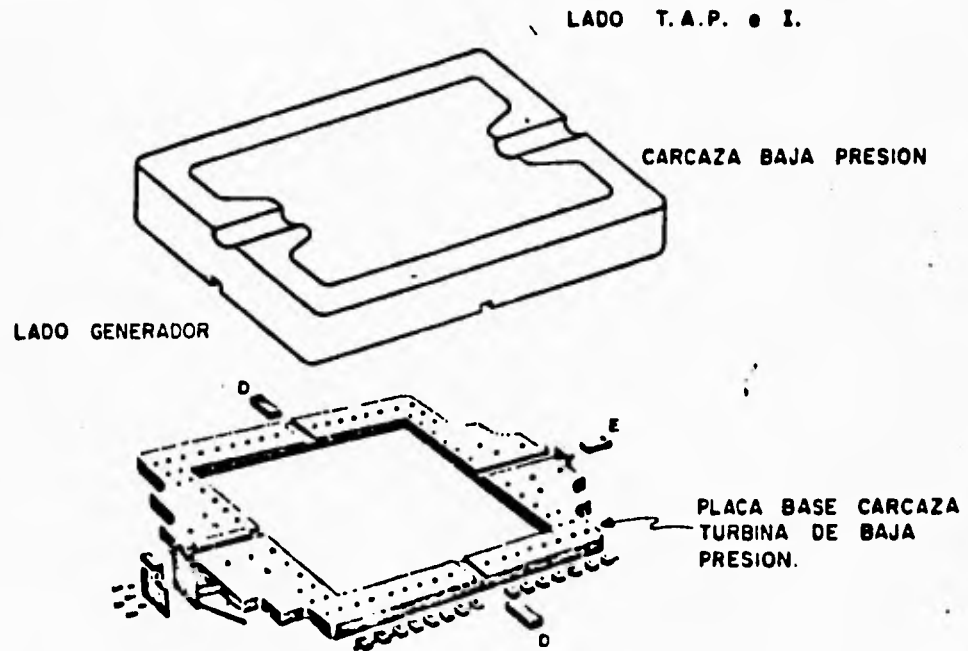


FIG. VI. 4. 2

TURBINA DE ALTA PRESION E INTERMEDIA

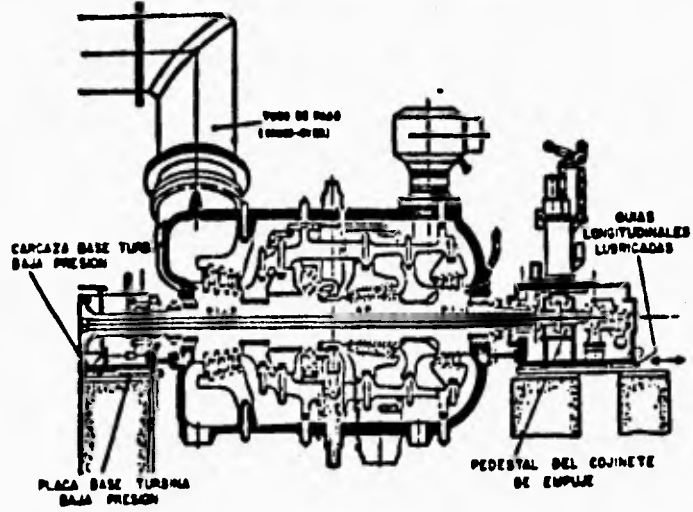
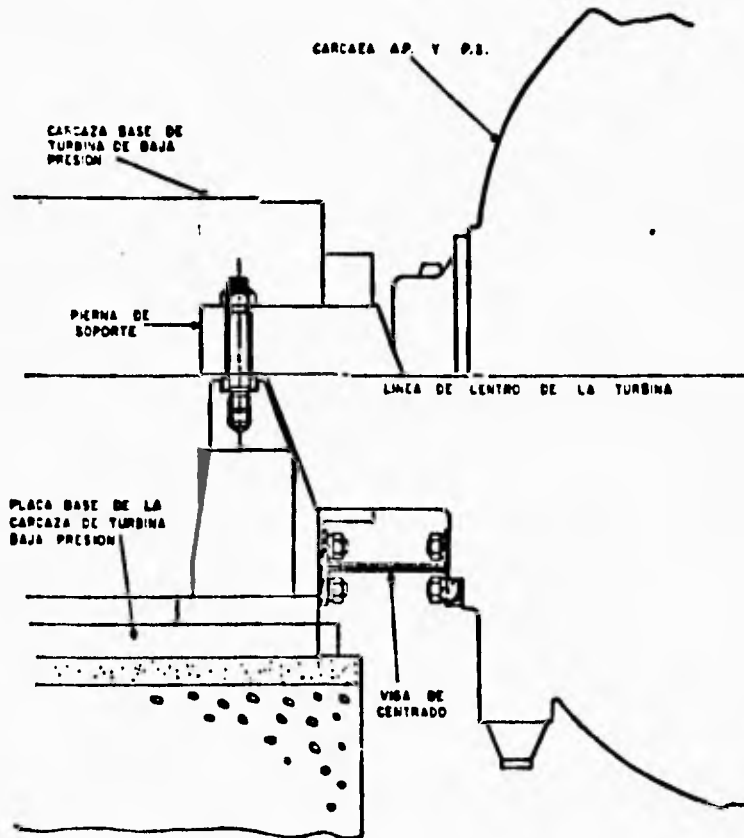


FIG. VI. 4. 3



METODO DE SOPORTE DE LA CARCAZA DE INT. Y ALTA PRESION.

FIG. VI. 4. 4

de la carcaza; esto hace que el rotor se expanda más aprisa en los procesos de calentamiento (rodado y cargas) y se contraiga más rápido en los procesos de enfriamiento (descarga). Si bien existen huelgos axiales entre las partes rotativas y estacionarias que permiten la expansión diferencial en la turbina hasta cierto grado, pueden ocurrir rozamiento entre estas partes si se exceden los límites de expansión diferencial permisible, siendo en los primeros pasos de la turbina de baja presión.

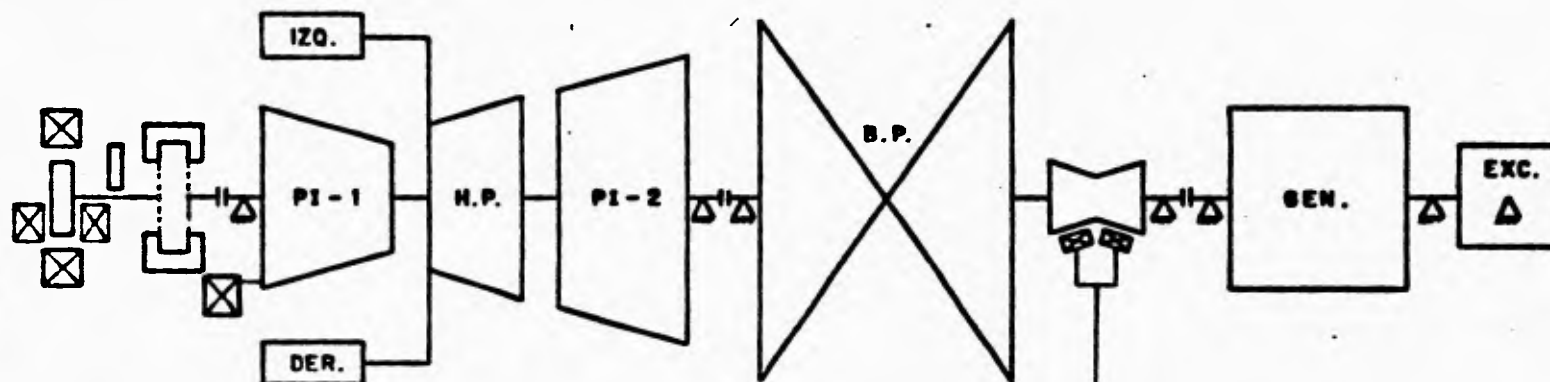
Recordando lo que ya se mencionó en el tema de expansión de carcaza, que la carcaza de T.A.P. está firmada rígidamente a la carcaza base de la turbina de baja presión y con libertad de expansión hacia y con el pedestal del gobernador. El pedestal de la chumacera de empuje está rígidamente unido al pedestal del gobernador (ver Fig. VI.4.4), en esta forma el extremo libre de la carcaza y el rotor se desplazarán siempre juntos y el rotor tendrá libertad de expansionar hacia la zona del generador.

La medición de la expansión del rotor se efectúa en un punto del mismo donde se abarque todas las zonas de dilatación o contracción (rotor T.A.P. y rotor T.B.P.) y con relación a un punto fijo de la carcaza base de la turbina de baja presión y dicha medición representará la dilatación diferencial entre rotor y carcaza manifestándose hacia uno u otro lado, tal como se muestra en la (Fig. VI.4.5).

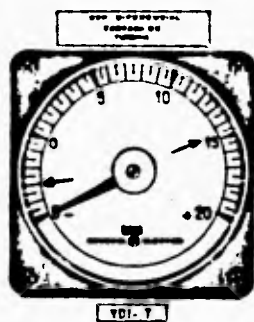
Cada rueda está alojada entre dos diafragmas de toberas con tolerancias hacia cada uno de ellos; analizándo una de ellas y si le llamamos anteriores a los huelgos que están entre rueda y diafragma de más alta presión correspondiente y posteriores a los que corresponden al otro lado.

Y reafirmando que la expansión de la carcaza es hacia el lado gobernador, que el pedestal del cojinete de empuje está firmemente unido al gobernador, y que la expansión del rotor es hacia el generador, por ejemplo, observemos lo siguiente en la (Fig. VI.4.6), al dilatarse el rotor tiende a cerrar los huelgos posteriores (ALTA EXPANSION DIFERENCIAL). Al dilatarse la carcaza, ésta efectúa el despla-

LOCALIZACION DE INSTRUMENTOS SUPERVISORIO

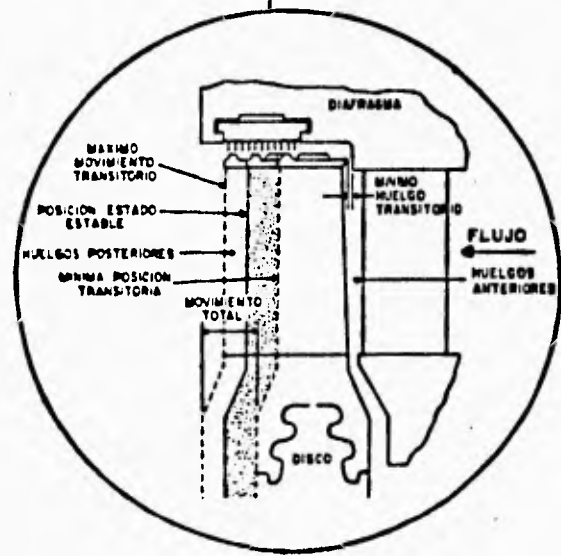
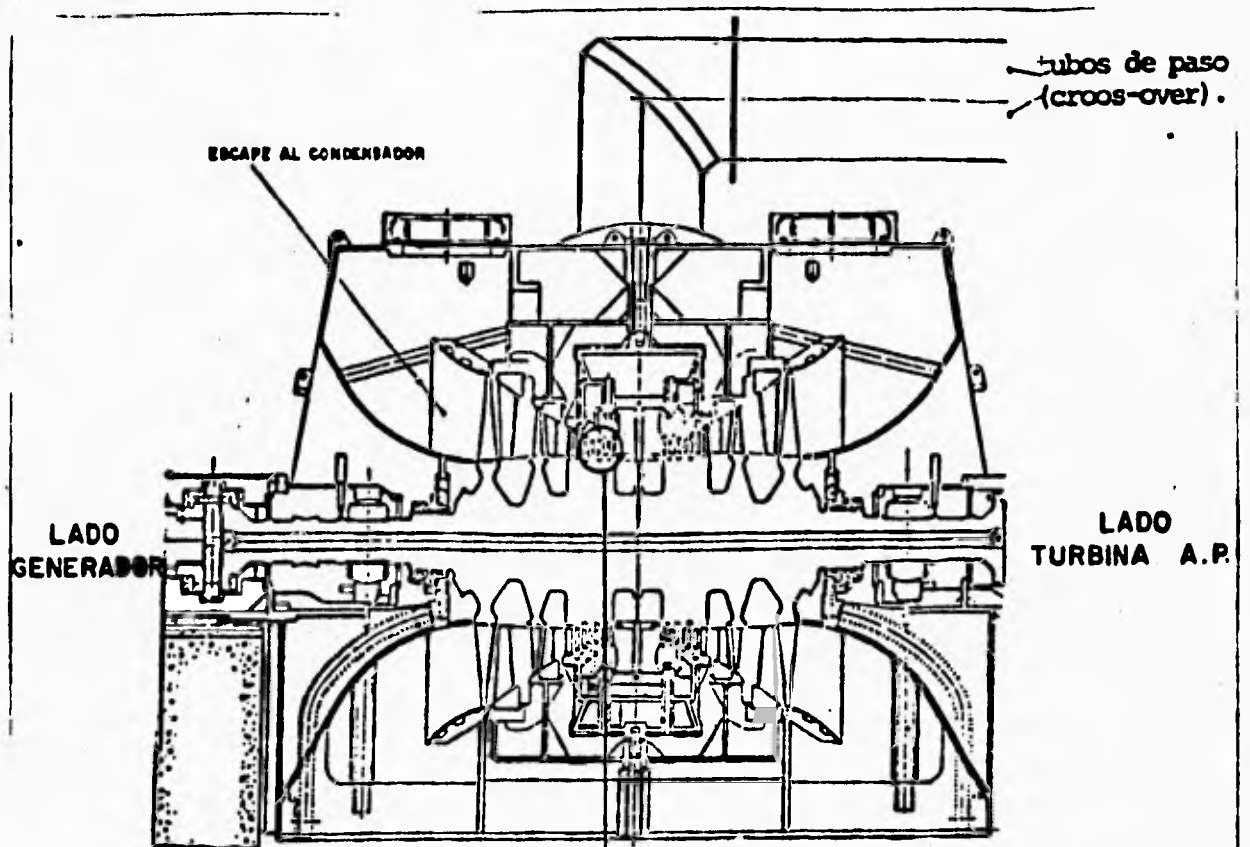


469



MEDIDOR DE EXPANSION DIFERENCIAL

FIG. VI. 4. 5



MOVIMIENTOS Y MUELGOS TÍPICOS PARA PRIMER PASO DE LA SECCIÓN DE TURBINA DE BAJA PRESIÓN.

FIG. VI. 4.6

zamiento del rotor hacia el lado gobernador, tendiendo a cerrar los huelgos anteriores (BAJA EXPANSION DIFERENCIAL).

Cuando se reducen los tiempos de arranque e incremento de carga se producen grandes cambios de temperatura en la turbina, lo que provoca que el rotor se dilate antes de que la carcaza, dando como resultado una ALTA EXPANSION DIFERENCIAL o "rotor largo". Al efectuarse decrementos de carga rápidos que provocan que la temperatura del vapor en turbina descienda en forma rápida, de tal forma que el rotor se contrae antes que la carcaza provocando la BAJA EXPANSION DIFERENCIAL o "carcaza larga" .

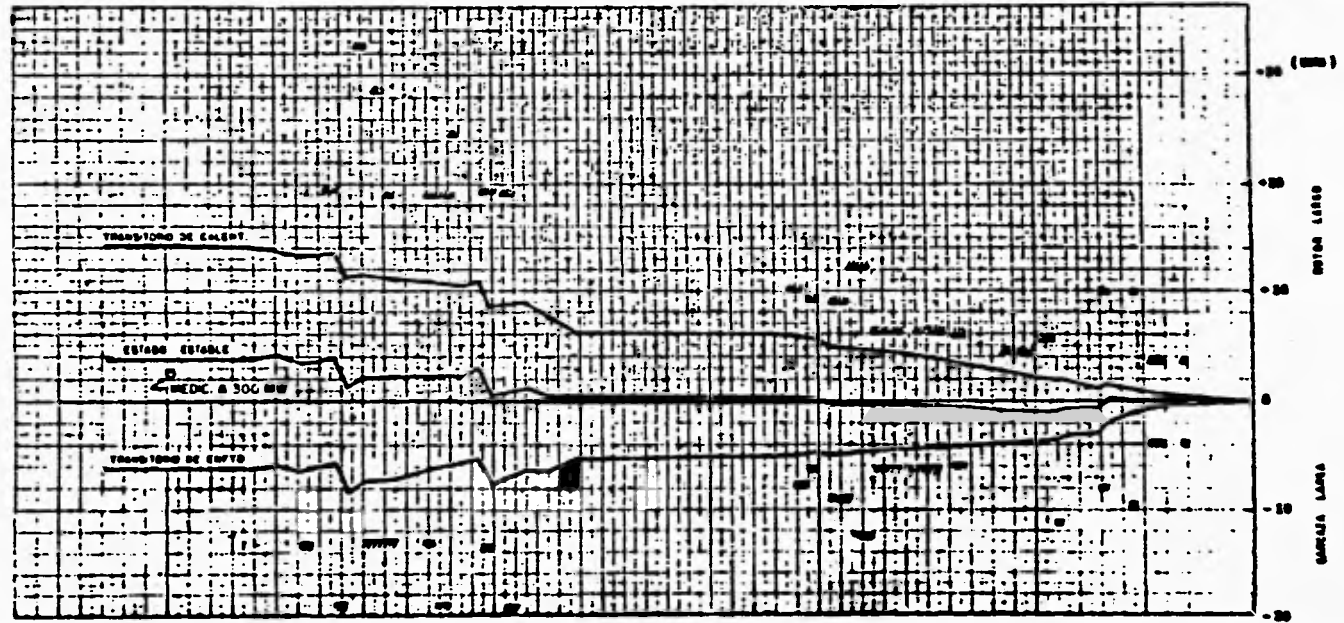
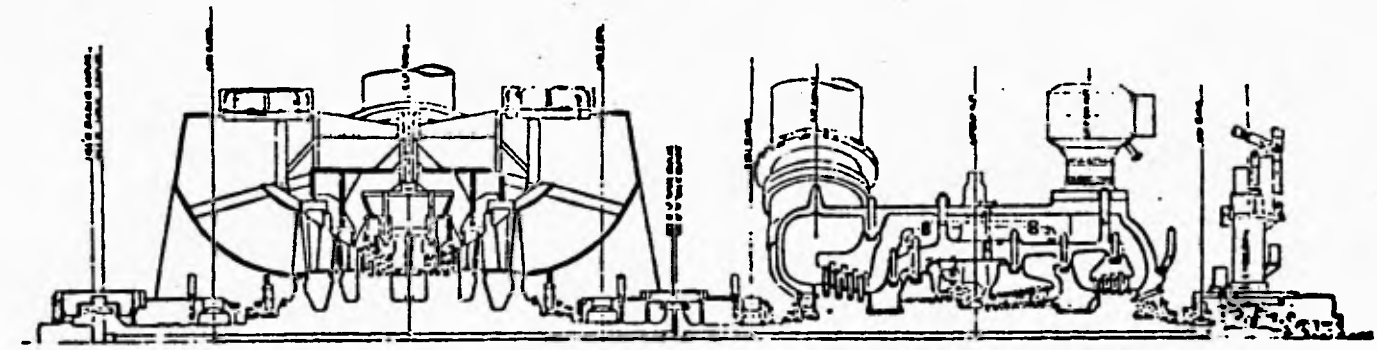
De lo anteriormente visto se puede concluir que tanto una alta o baja expansión diferencial se corre el riesgo de agotar los huelgos axiales y por consiguiente de rozamiento inminente. (Graf. No VI.

4.1).

POSICION DEL ROTOR.

En las turbinas de impulso la presión del vapor en ambas caras de las ruedas es la misma, por no expansionarse el vapor en los álabes móviles . No hay entonces tendencia de empuje del vapor sobre las ruedas; pero para asegurar que la presión sea exactamente la misma en ambas caras de las ruedas, se perforan los discos de éstas pues el chorro de vapor que abandona los álabes móviles ejercen una acción de succionar que podría crear una diferencia de presiones en ambas caras tendiente a ejercer un empuje del rotor en forma axial; en algunas turbinas de impulso se acostumbra diseñar los últimos pasos con cierto grado de reacción, en cuyo caso éstos discos no se barrerán pero la turbina deberá ser provista de algún tipo de pistón de equilibrio para compensar éste empuje.

En las turbinas de reacción no existen las ruedas; los álabes móviles están montados sobre tambos o eje sólido que según su diseño puede recibir un empuje considerable por la diferencia de presiones que actúan sobre él. Como en los álabes móviles el vapor expansiona y ejerce una presión sobre el anillo que forman los álabes ocasionando un empuje de tal magnitud que hay que disponer de pistón o pistones



TRANSITORIOS DE CALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO DEL ROTOR Y CARCAZA.

Gráfico VI.4.1

de equilibrio para compensar este empuje axial aún cuando existen - arreglos de turbinas de flujos opuestos; este empuje no es balanceado totalmente, es decir existe siempre una fuerza resultante que tiende a desplazar axialmente el rotor; para mantener la posición axial de la flecha de la turbina respecto a las partes estacionarias, las turbinas están provistas de una chumacera denominada "chumacera de empuje" compuesta por un collar y zapatas de empuje.

El collar de empuje ejerce una presión contra las zapatas de empuje, las cuales son localizadas en ambos lados del collar.

Se producen pequeños desplazamientos axiales del rotor, según cambie la carga eléctrica de la unidad. En un movimiento axial del rotor en forma brusca, se producirá un desgaste en las zapatas de empuje para el cual es necesario medir la posición del collar de empuje respecto a las zapatas; si el desgaste es excesivo, el collar de empuje tendrá más huelgo y por tanto se tendrán desplazamientos axiales del rotor más pronunciados, con la tendencia de que se puedan dañar los sellos y los álabes.

La posición del rotor debe ser aproximadamente igual para cada condición dada (carga, presión, temperatura del vapor principal, vacío, etc.) cualquier variación en la posición establecida por la chumacera de empuje puede significar una carga excesiva o desgaste de la posición del rotor, está localizado como se muestra en la (Fig. VI. 4.7) y como se puede observar tan cerca como es posible de la chumacera de empuje para evitar posibles errores en la medición por expansión térmica.

El medidor opera bajo el mismo principio electromagnético del de excentricidad y opera un indicador y un registrador para proporcionar al operador la historia del comportamiento de la posición del rotor. Para las turbinas Mitsubishi los desplazamientos máximos permisibles son -0.3 mm. hacia el GOBERNADOR y $+0.7$ mm. hacia el lado del GENERADOR, quedando ajustada la alarma en éstos valores.

VIBRACIONES

Definiciones.

Se le llama VIBRACION MECANICA de un sistema que posee masa y elasticidad, al movimiento que se repite en un intervalo de tiempo definido.

El PERIODO es el tiempo que tarda en repetirse la vibración.

Un CICLO es cada repetición del movimiento completo, realizado durante el período.

La FRECUENCIA es el número de ciclos por unidad de tiempo.

Las VIBRACIONES LIBRES aparecen en un sistema sobre el que actúan sus fuerzas interiores; tales como los pesos de los elementos, componentes, muelles u otros componentes elásticos.

La FRECUENCIA NATURAL es la frecuencia de un sistema sometido a vibraciones libres.

Las VIBRACIONES FORZADAS aparecen en un sistema sobre el que actúan fuerzas exteriores periódicas.

La RESONANCIA aparece cuando la frecuencia de las vibraciones forzadas coinciden o, por lo menos, se aproximan a la frecuencia natural del sistema, o por un múltiplo de ella.

Las VIBRACIONES TRANSITORIAS desaparecen con el tiempo. Las vibraciones libres son de carácter transitorio.

VIBRACIONES PERMANENTES son las que se repiten continuamente en función del tiempo. Las vibraciones forzadas son ejemplo de vibraciones permanentes.

Las velocidades que originan vibraciones violentas se conocen como " VELOCIDADES CRITICAS ". En general, las velocidades críticas de cualquier flecha cilíndrica con varios discos girando sobre dos o más apoyos rígidos, coinciden con las frecuencias naturales de vibración de las flechas, sin giros de sus apoyos.

A través de la variable Excentricidad se supervisa únicamente la deformación del rotor de la turbina de intermedia y alta presión, siendo esto a velocidades comprendidas entre la del tornaflecha 4 R.P.M. y las 600 R.P.M.; a velocidades superiores de las 600 R.P.M. por medio de la variable VIBRACION se supervisa la deformación y/o desbalances que pueda tener los diferentes rotores (rotor T.A.P., T.B.P., Generador, Excitador) que constituyen el conjunto rotor del turbogenerador, siendo medida cerca de las chumaceras principales como lo muestra la (Fig. VI.4. 8).

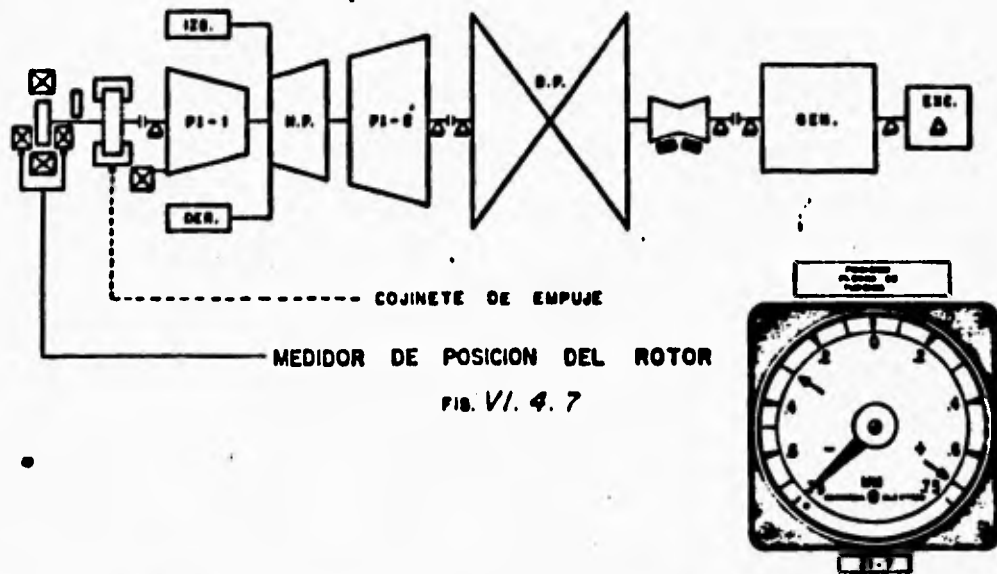
Las vibraciones excesivas sirven como advertencia de condiciones anormales y posiblemente peligrosas en la turbina, quedando el ajuste de alarma en 0.125 mm y 0.250 mmes el valor al cuál el operador deberá efectuar el disparo de la Unidad.

Los instrumentos indicadores y registradores de excentricidad y vibración automáticamente realizan el cambio cuando se presentan las 600 R.P.M. para efectuar la medición respectiva.

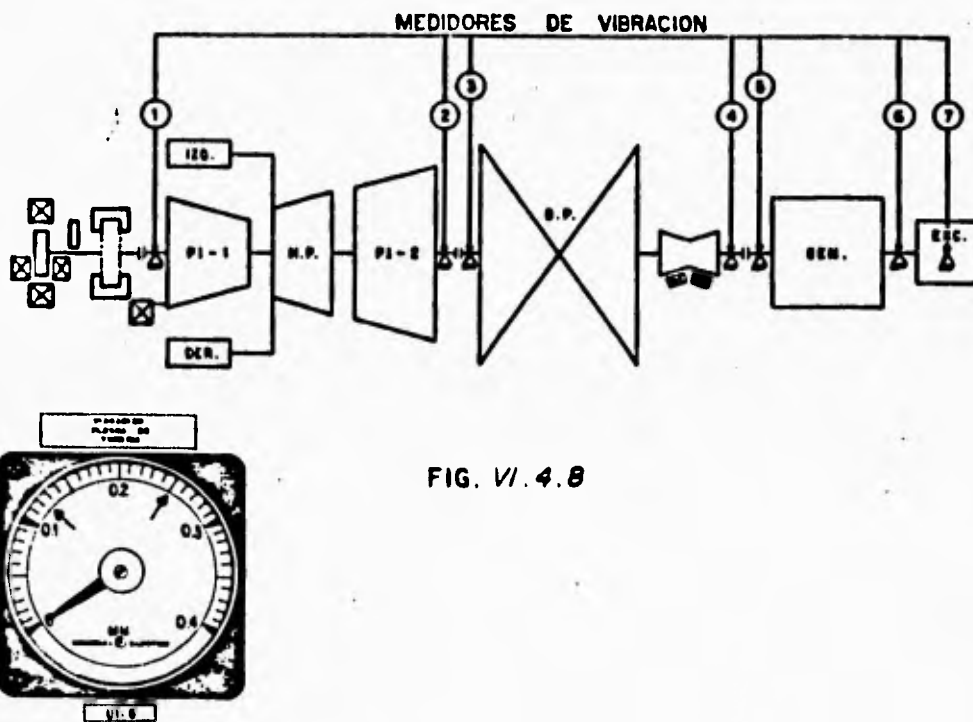
POSICION ADITIVA DE VALVULAS GOBERNADORAS

Durante el proceso de arranque del turbogenerador es deseable contar con un registro e indicación de posición de válvulas para poder determinar la velocidad en la cual se efectúa la transferencia del control de la misma (de válvulas de estrangulamiento a las de gobierno o de arco pleno a parcial) y con esto último llevar la unidad a la velocidad de sincronización.

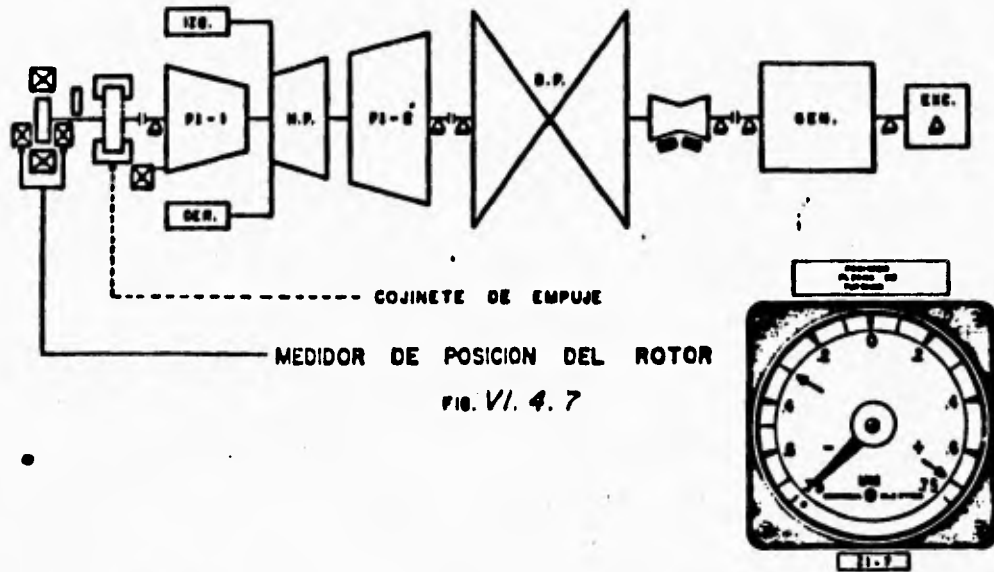
LOCALIZACION DE INSTRUMENTOS SUPERVISORIO



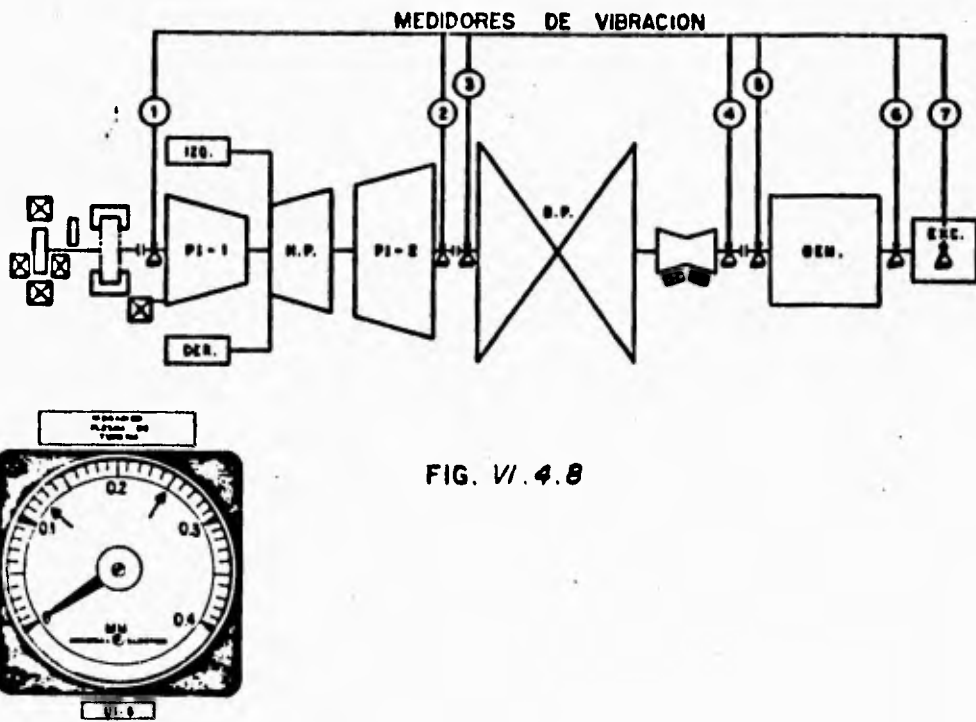
LOCALIZACION DE INSTRUMENTOS SUPERVISORIO



LOCALIZACION DE INSTRUMENTOS SUPERVISORIO



LOCALIZACION DE INSTRUMENTOS SUPERVISORIO



Cuando el generador está en línea la posición de las válvulas -- será de utilidad para dar un índice de carga determinada entregada al sistema.

El medidor de posición de válvulas de gobierno opera un indicador y un registrador con los cuales se supervisa la suma total de las posiciones de las válvulas de gobierno acopladas al mecanismo de accionamiento.

Para el caso específico de las unidades de 300 MW que cuentan con ocho válvulas de gobierno dispuestas en dos grupos es decir cuatro y cuatro en cada uno, cada grupo de válvulas es accionado por un mecanismo hidráulico y la carrera de éste (en mm. localmente) será indicada y registrada de 0 a 100% en la sala de control, (Fig. VI.4.9).

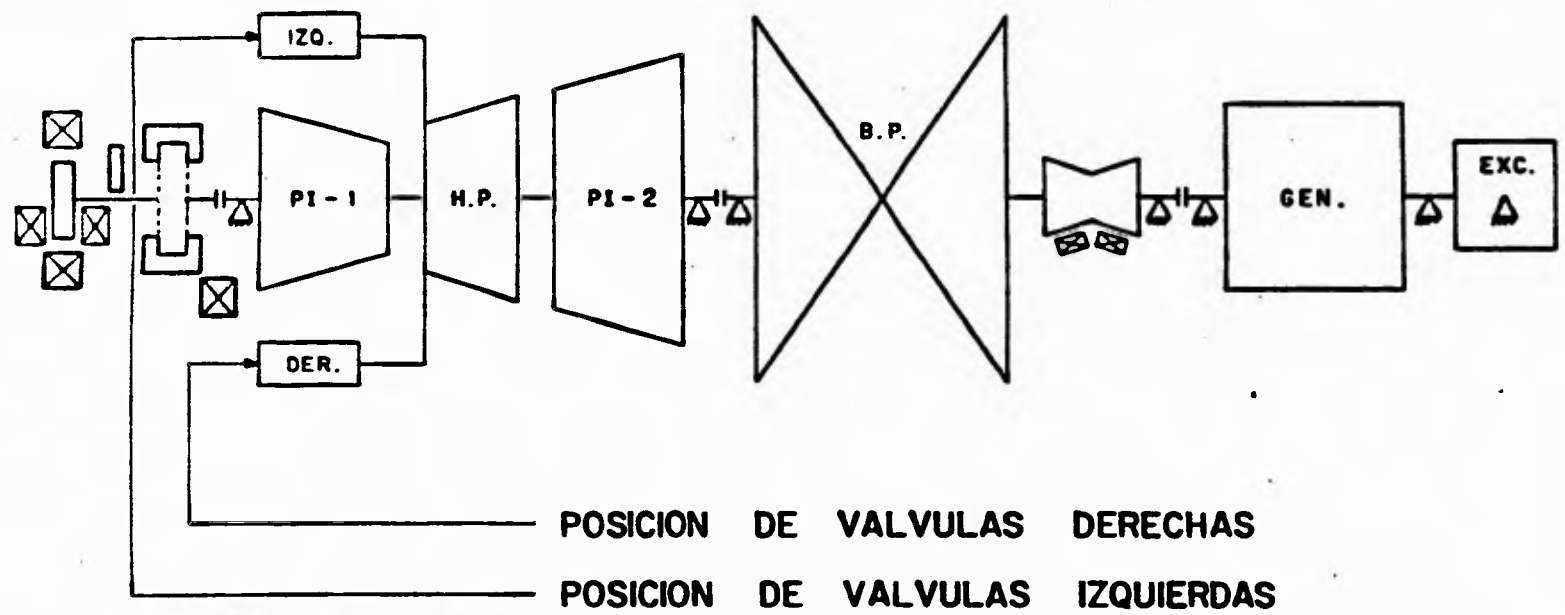
VELOCIDAD

Durante la operación normal del turbogenerador se considera la velocidad del mismo casi constante pero cuando existen pérdidas repentinas de carga o de generación, se presentan variaciones de velocidad muy pronunciadas, debido a estas situaciones es necesario contar con un registro permanente de esta variable, la cual permita supervisar la operación del turbogruppo bajo condiciones de baja o alta velocidad que consumen la vida útil de los últimos pasos de turbina.

Otro objetivo de medir esa variable es el de supervisar la velocidad de rotación del rotor durante el proceso de arranque y así poder controlar los escalones e incrementos de velocidad (durante el rodado) requeridos para efectuar el calentamiento adecuado de los componentes de turbina de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

El instrumento sensor de velocidad consiste en un detector magnético compuesto de una rueda dentada de 60 polos, montada en el extremo del rotor de turbina como se muestra en la (Fig. VI.4.10).

LOCALIZACION DE INSTRUMENTOS SUPERVISORIO



POSICION DE VALVULAS DERECHAS
POSICION DE VALVULAS IZQUIERDAS

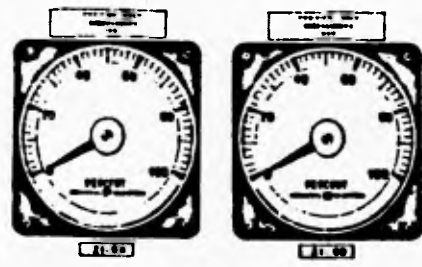


FIG. VI. 4.9

DIFERENCIALES DE TEMPERATURA.

Durante el arranque de las grandes unidades turbogeneradoras, - las principales limitaciones serán una o más de las siguientes:

- 1.- Esfuerzos térmicos en las partes de turbina.
- 2.- Expansión diferencial entre rotor y carcaza
- 3.- Distorsión de las componentes más grandes de turbina.

Cualquiera de estos efectos son producidos por someter el metal de turbina a cambios térmicos. El mismo efecto puede no ser limitante en una máquina en particular bajo varias condiciones, pero en general los esfuerzos térmicos tendrán una influencia dominante.

El repetir en exceso los esfuerzos térmicos pueden resultar agrietamientos del metal de turbina. Donde esto ocurre es generalmente en las porciones de carcaza donde el vapor tiene las más altas presiones, temperatura y velocidad y es, entre la zona de entrada del vapor y las zonas contiguas del primer paso. También los agrietamientos en la superficie del rotor de turbina, han ocurrido también en las partes de más alta presión. Los grandes cambios térmicos dentro de turbina - pueden producir excesiva expansión diferencial la cual puede resultar en rozamiento interno. La distorsión térmica de las partes de la turbina puede ocasionar fugas, desalineamiento, deformación permanente de las partes y también puede afectar el balance de la unidad.

Para ilustrar la relación de esfuerzos por temperatura, asumimos que una placa de metal es calentada en uno de los lados.

En esta fase podemos aproximar las condiciones aplicadas a una porción de metal de turbina, es decir una porción de carcaza de turbina, en contacto con vapor caliente que está fluyendo en la superficie interna de la misma. Como un lado de placa es calentada, una diferencia de temperaturas ocurre entre las dos superficies de la placa, y resulta una cierta distribución de temperatura a través de la placa de una superficie a la otra. Asumimos que para algún instante dado, la distribución es lineal y la temperatura de cada superficie esta designada por T_1 y T_2 respectivamente (Fig. VI.4.11).

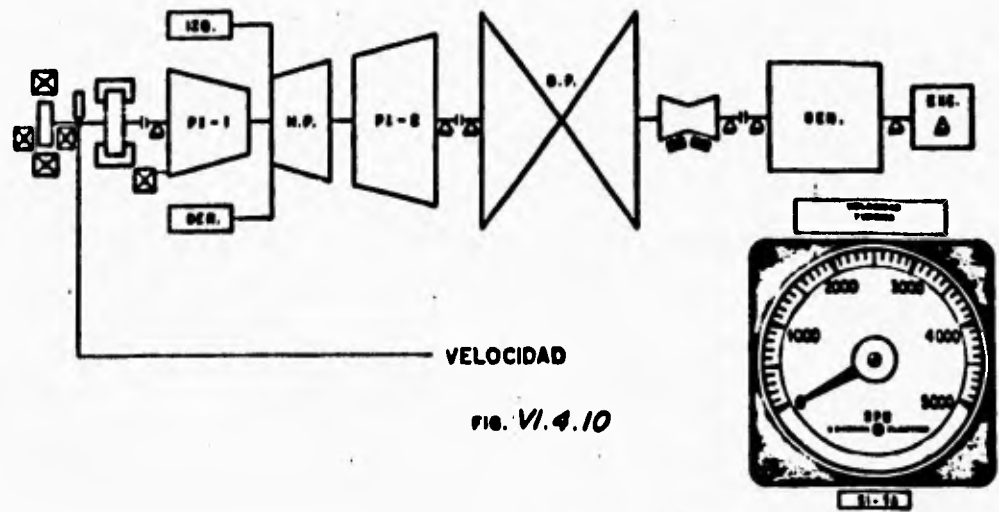


FIG. VI.4.10

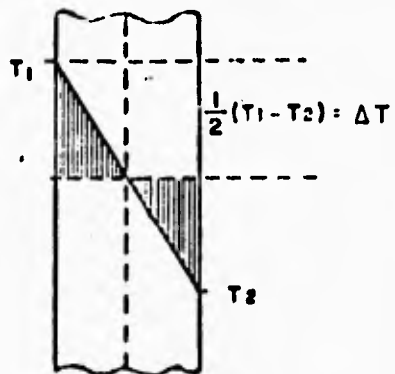


FIG.

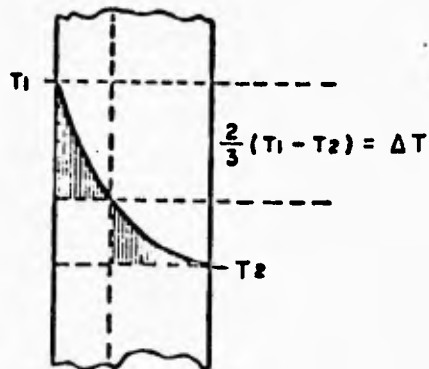


FIG.VI.4.12

En este caso la fibra neutra existirá a la mitad de la pared y los esfuerzos a compresión ocurrirán entre la fibra neutra y la superficie caliente y los esfuerzos de tensión entre la fibra neutra y la superficie fría. La distribución de esfuerzos será simétrica - cerca de la fibra neutra, variando linealmente con la temperatura - desde 0 en la fibra neutra a un máximo hacia cada superficie. Los máximos esfuerzos pueden ser calculados por la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{E \alpha (\Delta T)}{(1 - \mu)} \quad \text{fórmula No. 1}$$

Donde:

- σ = Esfuerzo (Kg/cm^2)
- ΔT = Diferencia de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
- α = Coeficiente lineal de dilatación térmica $\text{cm/cm}/^{\circ}\text{C}$.
- E = Módulo de elasticidad (Kg/cm^2)
- μ = Relación de Poisson's

Aplicando la fórmula de los esfuerzos máximos para el caso de la (Fig. VI.4.11) serán:

$$\sigma = \frac{E \alpha (T_1 - T_2)}{2(1 - \mu)} \quad \text{fórmula 2}$$

Es evidente que para un material dado los esfuerzos térmicos son de pendiente única y exclusivamente de la diferencia de temperaturas e independiente del espesor de la placa. Esto no infiere que los esfuerzos en varias partes de turbina son independientes del espesor de la placa. Como regla general un espesor de pared más gruesa resultará una diferencia de temperaturas más grande. Sin embargo la distribución de temperaturas a través de la pared también tiene un significativo efecto sobre los esfuerzos térmicos. Cuando la distribución no es lineal, los máximos esfuerzos serán más grandes para

la misma diferencia de temperaturas ($T_1 - T_2$).

Si la distribución de temperaturas es parabólica, la condición mostrada en la (Fig. VI.4.12) existirá.

Esta condición debe ser aplicada a muchas partes de carcasa de turbina durante ciclos de arranque. Como se muestra, la distribución de esfuerzos no es simétrica y los máximos esfuerzos, los cuales son a compresión serán:

$$\sigma = \frac{E \alpha 2(T_1 - T_2)}{3(1 - \mu)} \quad \text{fórmula No. 3.}$$

Cuando la superficie de la placa es expuesta repentinamente a un cambio de temperatura muy rápido, la distribución de temperaturas será similar a la mostrada en la (Fig. VI.4.13). Mientras más grande sea la diferencia de temperaturas y más cerca de la superficie, el cambio de temperatura en ésta será en forma muy brusca.

Es probable que este tipo de condición ocurra en las partes más calientes del metal de turbina entre la entrada de vapor y la zona del primer paso. El máximo esfuerzo de esta condición será:

$$\sigma = \frac{E \alpha (T_1 - T_2)}{(1 - \mu)} \quad \text{fórmula No. 4}$$

La (Fig. VI.4.14) muestra la diferencia de temperaturas para una placa de acero aislada térmicamente por un lado y calentada por el otro para diferentes regímenes de calentamiento.

Se ve por ejemplo una placa de 100 mm. y un régimen de calentamiento de 1092 °C/hr. existe una diferencia de temperaturas $T_1 - T_2$ que es de 205 °C y para una placa de 50 mm y el mismo régimen la diferencia es solo de 38 °C. Para limitar la diferencia a 65 °C en una placa de 75 mm de espesor tendría que limitarse el proceso de calentamiento a 200 °C.

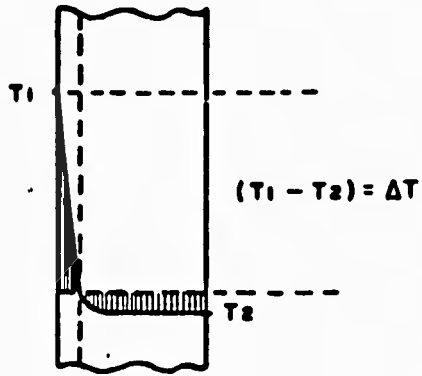
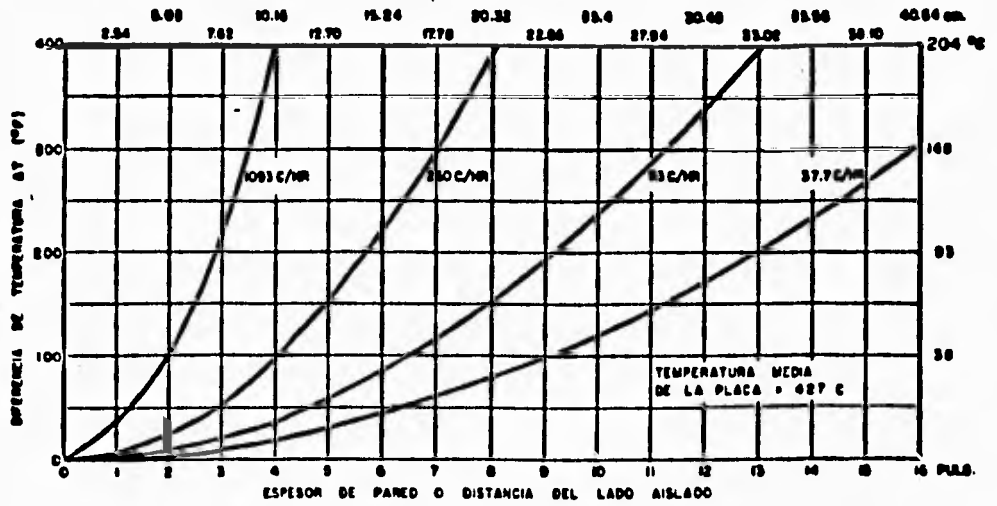


FIG. VI. 4.13



DISTRIBUCION DE TEMPERATURA DE EQUILIBRIO A TRAVES DE LA PARED DE UNA PLACA, CUANDO LA TEMPERATURA ENTERA DE LA PLACA ESTA INCREMENTANDO A UNA RAZON CONSTANTE. TODO EL CALOR ES SUMINISTRADO A UN LADO DE LA PLACA, EL OTRO ESTA AISLADO.

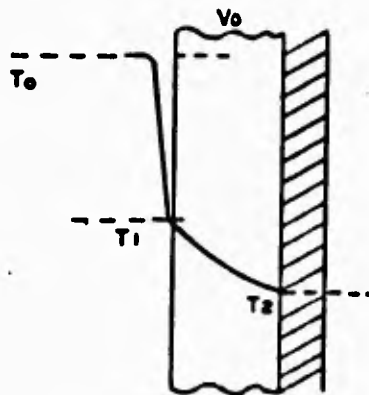


FIG. VI. 4.15

Se acepta que si una placa aislada térmicamente por un lado, se somete a un proceso de calentamiento por el otro, en tal forma que toda la masa de la placa eleve su temperatura al mismo régimen, el gradiente térmico se distribuye parabólicamente a través de la placa.

Supongamos que la (Fig. VI.4.15) represente una placa metálica aislada por un lado y sometida a un proceso de calentamiento por el otro por acción, digamos, de un vapor cuya temperatura es T_0 ; la rapidez con que se eleve la temperatura T_1 depende de la densidad del vapor (sobrecalentado o húmedo), de la presión a que se halle confinado y de la velocidad con relación a la placa V_0 ; estas condiciones afectan el coeficiente de transmisión del calor de la película de vapor que se adhiere a la placa.

El coeficiente de transmisión de calor crece por la presión y con la velocidad en forma muy sensible y cuando el vapor es húmedo adquiere valores muy elevados; para dar una idea de estas variaciones supongamos que para condiciones normales de velocidad en las zonas de alta presión de una turbina, si la presión cambia digamos de 2 Kg/cm^2 a 42 Kg/cm^2 el coeficiente de transmisión puede pasar de $0.068 \text{ Kcal/hr-}^\circ\text{C-cm}^2$ a $0.080 \text{ Kcal/hr-}^\circ\text{C-cm}^2$, si el vapor es húmedo puede llegar a $0.292 \text{ Kcal/hr-}^\circ\text{C-cm}^2$. A medida que el coeficiente de transmisión aumenta su valor, T_1 tiende a acercarse a T_0 más rápidamente; o de otro modo, para que la misma rapidez de ascenso de temperatura T_1 , la diferencia $T_0 - T_1$ es más grande a medida que el coeficiente de transmisión de calor es más pequeño.

Puesto que los turbogeneradores son arrancados y parados con frecuencia, es esencial que los esfuerzos por los ciclos de carga térmica se reduzcan al mínimo para evitar daños a la máquina. A este respecto, el requisito operacional más importante es evitar, durante el arranque y paro, diferencias de temperatura excesivas dentro de los componentes de las turbinas. Por lo tanto, los procesos de arranque y paro deben estar condicionados por las lecturas de los elementos de temperatura instalados en diferentes partes de la turbina como los mostrados en la (Fig. VI.4.16). Para unidades de 300 MW el

435

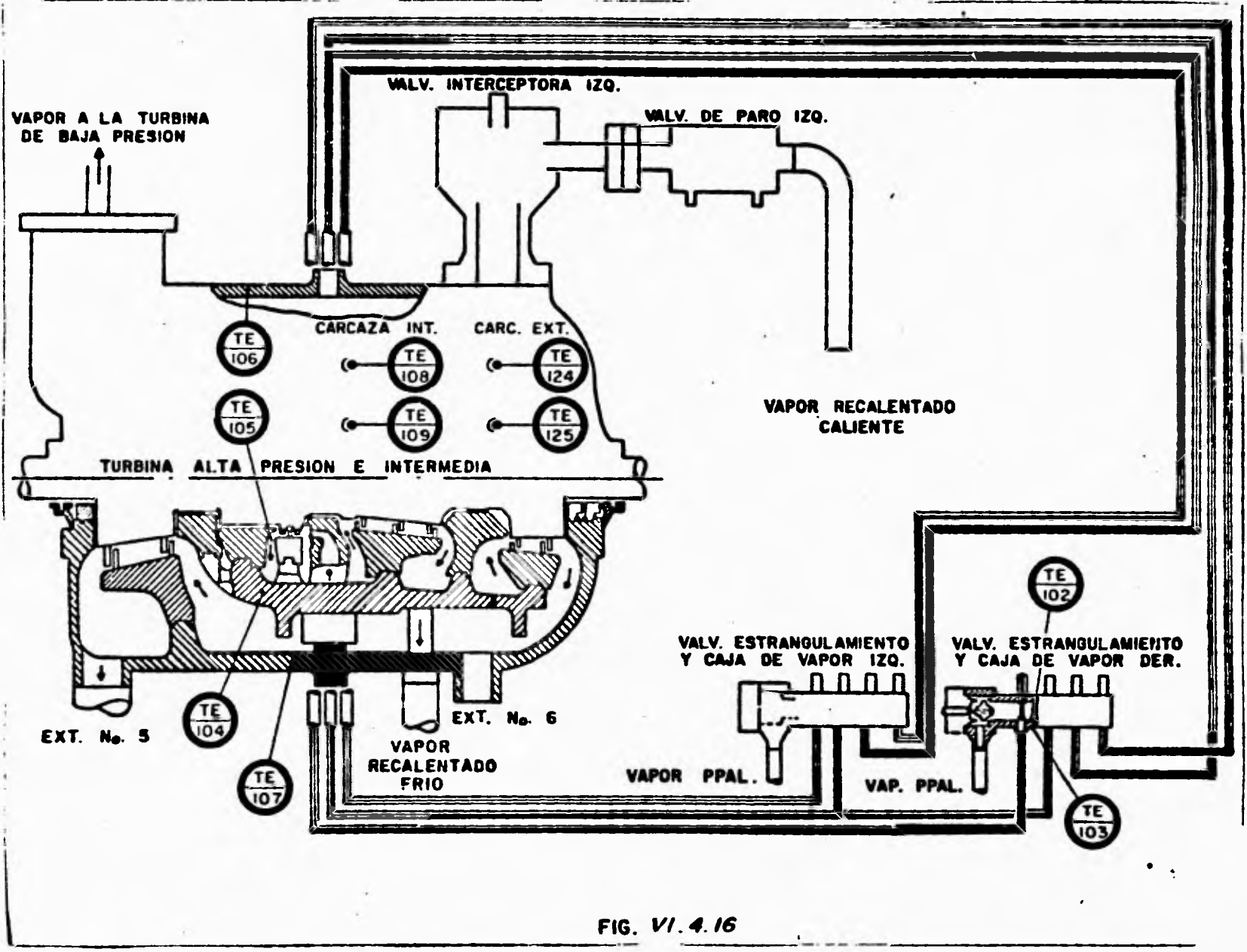


FIG. VI. 4. 16

arzanque y los incrementos de carga rápidos producirán diferenciales de temperatura y si éstos son grandes y con cierta distribución de las ya vistas, se producirán esfuerzos térmicos excesivos los cuales pueden originar grietas si se repiten con frecuencia.

Las diferenciales supervisadas en las partes de turbina para el caso específico de unidades de 300 MW son:

- Diferencial de temperatura Metal/vapor en Paso Curtis
- Diferencial de temperatura Superficie int./ext. en caja de vapor.
- Diferencial de temperatura Brida-perno carcaza interior T.A.P.
- Diferencial de temperatura Brida-perno carcaza exterior T.A.P.
- Diferencial de temperatura parte Superior/inferior carcaza exterior.

En adición a la información suministrada por los termopares para las diferenciales mencionadas anteriormente, existen dos mediciones de temperatura que tienen que supervisarse con el objeto de que los esfuerzos térmicos en esas zonas no sean excedidos de lo recomendado. Dichas mediciones son:

- Temperatura de vapor de sellos.
- Temperatura de escape de la turbina de baja presión.

VII. SISTEMA ELECTRICO

Las Centrales Termoeléctricas están constituidas por una serie de sistemas, de los cuales la mayor parte utiliza equipo que es accionado por energía eléctrica para cumplir con una función específica dentro del sistema del cual forma parte.

El objetivo de este capítulo es describir la estructura y funcionalidad de la red que se utiliza en una Central Termoeléctrica de 300 MW para hacer llegar la energía eléctrica a cada uno de los equipos que la integran y que requieren de este tipo de energía para su funcionamiento.

Ahora bien la energía eléctrica que se utiliza en la Central se podría clasificar de acuerdo al voltaje que se utiliza, a la fuente que la suministra o si es corriente alterna o corriente directa.

SISTEMA ELECTRICO

En las Centrales generadoras de energía eléctrica, como es el caso de Centrales Termoeléctricas, el sistema eléctrico desempeña un papel fundamental para que éstas cumplan su cometido, ya que a través de él se alimenta el equipo auxiliar del Generador de Vapor, Turbina y Generador Eléctrico. Este equipo para su alimentación requiere de interruptores, Buses, Tableros y Transformadores, enlazados de tal manera que constituyen un sistema bien estructurado, con las protecciones adecuadas que lo hacen seguro y confiable, pudiendo además cambiar su fuente de alimentación bajo diferentes condiciones de operación. Estas fuentes son:

- EL SISTEMA ELECTRICO NACIONAL, A TRAVES DEL TRANSFORMADOR DE ARRANQUE.
- ✓ EL GENERADOR PRINCIPAL, A TRAVES DEL TRANSFORMADOR DE AUXILIARES
- LA UNIDAD DIESEL, USADA UNICAMENTE EN CONDICIONES DE EMERGENCIA
- EL BANCO DE BATERIAS QUE ALIMENTA UNICAMENTE AL EQUIPO ESENCIAL DE LA UNIDAD BAJO CONDICIONES EXTREMAS DE EMERGENCIA.

GENERALIDADES

El generador de corriente alterna (CA) o alternador, es el medio más importante para la producción de energía eléctrica en la actualidad, como se sabe la corriente alterna se utiliza para la mayor parte de las aplicaciones de potencia debido a la facilidad con que puede ser transformada. Los alternadores requieren para su operación, de la acción de una bobina cortando líneas de fuerza dentro de un campo magnético o de un campo magnético cruzado a través de la bobina, siempre que exista un movimiento relativo entre la bobina y el campo se generará un voltaje.

PRINCIPIOS DE OPERACION

El principio de operación de los alternadores, se basa en la aplicación de las siguientes leyes:

- 1.- Ley de Faraday o de inducción.
- 2.- Ley de Lenz
- 3.- Ley de Ampere
- 4.- Ley de Biot-Savart.

LEY DE FARADAY O DE INDUCCION:

Esta ley establece que si el flujo magnético eslabonado por un circuito eléctrico cerrado, varía con respecto al tiempo, una fem es inducida en el circuito.

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

En donde si " ϕ " está dado en Maxwells o líneas de flujo magnético y "T" en segundos, entonces:

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

Ahora bien, $\frac{d\phi}{dt}$ puede obtenerse de dos manera que son:

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

una por movimiento mecánico que es el que se tiene en todas las máquinas rotatorias y la otra cuando la excitación es variable con el tiempo que es lo que ocurre en el caso del transformador.

LEY DE LENZ:

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

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

o sea que Lenz lo único que hizo fué poner un signo menos a la Ley de Faraday.

LEY DE AMPERE:

Esta ley dice que la integral de línea cerrada de la intensidad magnética "H", alrededor de un contorno cerrado es igual a la suma de los ampere-espiras, a los cuales ésta trayectoria eslabona.

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = NI \text{ (excitación)}$$

LEY DE BIOT-SAVART:

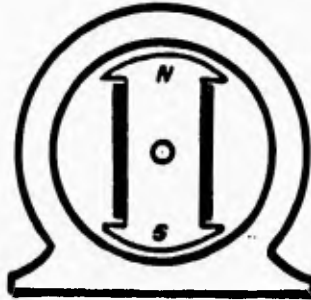
Establece que todo conductor bajo la acción de un campo magnético y por el cual circula una corriente eléctrica, queda sometido a la acción de una fuerza que lo hace desplazarse a través del campo.

FORMAS DE REALIZAR LA GENERACION:

De acuerdo al principio de funcionamiento del alternador, se requiere que exista un movimiento relativo entre los polos magnéticos del inductor y las bobinas de inducido, lo cual se puede lograr de acuerdo con las dos alternativas siguientes (Fig. VII.1.1):

- 1.- Que las bobinas del inducido permanezcan en el estator y que los polos se encuentren en el rotor.

- 2.- Que los polos queden fijos en el estator y las bobinas del inducido estén en movimiento en el rotor.



1a. ALTERNATIVA



2a. ALTERNATIVA

Para la generación de corriente alterna se prefiere la primera alternativa por las siguientes razones:

- a) Los voltajes de generación en los sistemas de potencia de CA son del orden de los 20 Kv en la actualidad, comparando éstos voltajes de generación en CA con los que se tienen en corriente directa (CD) los cuales son del orden de los 700 Volts., se comprende que las conexiones al exterior deben quedar perfectamente fijas y aisladas. Si se usaran anillos rozantes con éstos valores de voltaje, la máquina se destruiría.
- b) En los alternadores el circuito de excitación se encuentra en el rotor y es de corriente directa del orden de 250 Volts valor que es factible transmitir a través de anillos rozantes.
- c) Los voltajes de generación de CA implican que el aislamiento sea más estricto por lo que es más factible de incrementar

en una armadura fija que en una giratoria debido a que la profundidad de la ranura implica que la raíz del diente sea mayor, en cambio en una armadura giratoria cuando se incrementa la profundidad de la ranura, la raíz del diente disminuye perdiendo con esto rigidez mecánica en el rotor.

CLASIFICACION

Los alternadores se pueden clasificar atendiendo a diversos aspectos, entre los más importantes se pueden mencionar los siguientes:

POR SU APLICACION:

- a) Alternadores para turbinas hidráulicas.
- b) Alternadores para turbinas de vapor y gas
- c) Alternadores para máquinas de combustión interna.

POR LA POSICION DE SU FLECHA

- a) Alternadores verticales.
- b) Alternadores horizontales.

Los alternadores verticales son los que se usan en las Centrales Hidroeléctricas que disponen de turbinas de baja velocidad.

Los alternadores horizontales se pueden emplear en Centrales - Hidroeléctricas, Termoeléctricas y de combustión interna y pueden ser de alta o baja velocidad.

En las Centrales Termoeléctricas los alternadores son de alta velocidad 3600 RPM y de dos polos, para tener la frecuencia nominal de 60 Hz, bajo la siguiente relación:

$$f = \frac{NP}{120} \text{ (Hz)}$$

Donde:

- f = Frecuencia en Hz o cps
- N = Velocidad en RPM
- P = Número de polos

POR LA FORMA DE LOS POLOS:

- a) De rotor de polos salientes.
- b) De rotor de polos lisos o cilíndricos.

PARTES PRINCIPALES QUE LO CONSTITUYEN

A continuación se describirán los elementos más importantes de que consta un generador de CA de gran capacidad (300 MW).

CUBIERTA:

Consta de una estructura de acero de gran resistencia mecánica, diseñada para contener el hidrógeno refrigerante en el interior y - para resistir en caso de que se presentara una explosión interna por causa de la inflamación del hidrógeno. En esta cubierta se encuentran soportados: el núcleo del estator, los enfriadores de hidrógeno y el sistema de sellos de aceite que evitan que el hidrógeno fugue al exterior por las uniones de la cubierta con la flecha del rotor.

NUCLEO DEL ESTATOR:

Formado por delgadas láminas de acero al silicio, troqueladas - para formar las ranuras donde van alojadas las bobinas del estator o inducido. Estas láminas llevan una capa de barniz aislante con el fin de reducir las pérdidas por efecto Joule.

A través del laminado del núcleo se tienen canales de ventilación que permiten el paso del hidrógeno refrigerante, el cual es - impulsado por un ventilador de dos pasos localizado en el extremo - del rotor (lado turbina).

ROTOR:

El rotor consta de un cilindro de acero forjado, montado en un eje que lo habilita para girar,; el rotor al igual que el núcleo del estator se encuentra ranurado para alojar las bobinas que formarán el campo magnético (inductor).

Como ya se mencionó en el extremo del rotor lado turbina, se encuentra montado un ventilador de flujo axial de dos pasos encargado de hacer circular el hidrógeno a través de todos los pasajes del generador, donde absorbe el calor generado, posteriormente es cedido al agua de enfriamiento al pasar por los enfriadores de hidrógeno.

Cabe aclarar aquí que además del hidrógeno como refrigerante de los generadores, se usa también el agua desmineralizada fluyendo por el interior de las bobinas.

CHUMACERAS:

El rotor del generador se encuentra soportado en sus extremos por las chumaceras Nos. 5 y 6, así como también el rotor de la excitatriz por la chumacera No. 7.

Para mantener la flecha libre de esfuerzos indebidos, por causa de deflexión de la flecha o por un mal alineamiento, las chumaceras en su parte exterior son esféricas para que resulten autoalineables; por su parte interna las chumaceras están cubiertas por una camisa de metal Babbitt antifricción y lubricadas por aceite de presión del sistema de lubricación de la turbina.

En los soportes de las chumaceras Nos. 5 y 6, se encuentran soportados los elementos para formar los sellos de aceite que evitarán que el hidrógeno escape del interior del generador.

El sistema de aceite de sellos tiene la finalidad de impedir que el hidrógeno contenido dentro del generador, escape a la atmósfera por las dos partes donde se une la flecha del rotor con la cubierta del generador.

En cada una de las partes donde se une la flecha del rotor, con la cubierta del generador, se encuentra instalado (en la cubierta del generador) un dispositivo de sellado, el cual requiere ser alimentado normalmente por dos suministros diferentes de aceite y un tercero en forma eventual.

El equipo encargado de suministrar el aceite a los dispositivos de sellado del generador, se encuentra instalado en forma integral

en un módulo localizado cerca del generador, y el cuadro de alarmas y los interruptores de control, se encuentran en el tablero del sistema de hidrógeno del generador.

ENFRIADORES DE HIDROGENO

El generador cuenta con cuatro enfriadores de hidrógeno que pueden estar en las esquinas del generador o bien en grupos de dos en el extremo de lado turbina. Dichos intercambiadores de calor tienen la finalidad de extraerle el calor al gas hidrógeno después de que éste ha recorrido los pasajes del estator y del rotor.

Como ya se había mencionado anteriormente, el generador eléctrico es enfriado mediante hidrógeno que circula por el interior de él, en un circuito cerrado. Se escogió el hidrógeno como medio refrigerante del generador porque se obtienen las siguientes ventajas.

- a) Las pérdidas por ventilación son proporcionales a la densidad del fluido empleado en la refrigeración y como la densidad del hidrógeno, es 14 veces menor que la densidad del aire, las pérdidas por ventilación son 14 veces menos que si el generador fuera enfriado por aire.
- b) La conductividad térmica del hidrógeno es 7 veces más elevada que la del aire, por lo que las partes calientes del generador ceden más rápidamente su calor al hidrógeno que al aire, ocurre lo mismo en los enfriadores, donde el hidrógeno transmite más rápido su calor a los tubos del enfriador.
- c) El intercambio de calor se hace más fácil a medida que se aumenta la presión del hidrógeno.

Con una presión de hidrógeno de (2.0 Kg/cm^2) se genera aproximadamente un 50% más de potencia, que si fuera refrigerado por aire.

- d) Se obtiene mayor duración del aislamiento de las bobinas, ya que una atmósfera de hidrógeno conserva su flexibilidad por un período de tiempo más prolongado, además que el efecto corona se reduce.

El hidrógeno presenta el inconveniente de que al mezclarse con el aire en una proporción de 5 al 70% de hidrógeno, es altamente ex-

explosivo (la mezcla de aire-hidrógeno más peligrosa es de 35% de hidrógeno y 65% de aire), por lo que siempre se deberá cuidar que los sellos de aceite funcionen adecuadamente, para evitar fugas de hidrógeno o entradas de aire al generador.

En todo sistema eléctrico de potencia, la función del transformador es de gran interés, ya que del buen funcionamiento de éste, depende la continuidad del servicio, y el transformador se ha considerado como la base para la transmisión y distribución de energía eléctrica.

PRINCIPIOS DE OPERACION

INDUCCION MUTUA

Michael Faraday, encontró que si el flujo magnético enlazado a un circuito cambia con respecto al tiempo, induce una fem en el circuito; también encontró que si aumenta la velocidad de cambio del flujo se incrementa también la magnitud de la fem inducida, o sea que Faraday encontró que la fem inducida en un circuito depende de: la magnitud del flujo y de la velocidad del cambio, del flujo, que enlaza al circuito, estos efectos son lo que significa inducción mutua.

PARTES PRINCIPALES

Un transformador sencillo consiste de dos devanados acoplados entre sí, por lo general con un núcleo de hierro, pero aislados entre sí. El embobinado al cual se le aplica una fuente de voltaje de CA se le llama primario y genera un campo magnético que enlaza las espiras del otro devanado llamado secundario y genera un voltaje en éste. Los embobinados no están físicamente conectados entre sí, - sin embargo están acoplados magnéticamente uno al otro; por consiguiente un transformador transfiere potencia eléctrica de un devanado al otro bajo el principio de inducción electromagnética.

RELACION DE TRANSFORMACION:

Suponiendo que todas las líneas de fuerza magnética del primario cortan todas las vueltas del secundario, el voltaje inducido dependerá de la relación del número de vueltas en el secundario al número de vueltas en el secundario al número de vueltas en el primario o sea:

$$\frac{N_s}{N_p} = \frac{E_s}{E_p} = \text{Relación de transformación}$$

Por ejemplo si hay 1000 vueltas en el secundario ($N_s = 1000$ y sólo 100 vueltas en el primario ($N_p = 100$), el voltaje inducido en el secundario será 10 veces el voltaje del primario. Como hay mayor número de vueltas en el secundario que las que existen en el primario el transformador se llama "transformador elevador".

En cambio si el secundario tiene 10 vueltas y el primario tiene 100 vueltas, el voltaje inducido en el secundario será diez veces menor que el voltaje en el primario. Como hay menor número de vueltas en el secundario que en el primario, el transformador se llama "transformador reductor".

CLASIFICACION

Los transformadores pueden clasificarse de la siguiente manera:

POR LA FORMA DEL NUCLEO:

- a) Tipo de columnas
- b) Tipo acorazado.
- c) Tipo envolvente.
- d) Tipo radial.

POR NUMERO DE FASES:

- a) Monofásicos
- b) Trifásicos.

POR EL TIPO DE ENFRIAMIENTO:

- | | | |
|---------------------------|---|----------------|
| a) Enfriamiento OA | O | Oil (aceite) |
| b) Enfriamiento OW | A | air (aire) |
| c) Enfriamiento OW/A | F | force (fuerza) |
| d) Enfriamiento OA/AF | W | water (agua) |
| e) Enfriamiento OA/FA/FA | | |
| f) Enfriamiento FOA | | |
| g) Enfriamiento OA/FA/FOA | | |
| h) Enfriamiento FOW | | |
| i) Enfriamiento A/A | | |
| j) Enfriamiento AA/FA | | |

POR SU OPERACION:

- a) De potencia
- b) De distribución
- c) De instrumento.
- d) De horno eléctrico.
- e) De ferrocarril.

POR EL NUMERO DE DEVANADOS:

- a) De dos devanados
- b) De tres devanados

POR EL MEDIO REFRIGERANTE:

- a) Aire
- b) Aceite
- c) Líquido inerte

De esta clasificación la que requiere una explicación es la del

tipo de enfriamiento, las demás son obvias.

El tipo OA , es sumergido en aceite con enfriamiento propio (con tubos radiadores o tanques corrugados).

El tipo OA/FA , sumergido en aceite con enfriamiento propio por medio de aire forzado, básicamente es un tipo OA con adición de ventiladores para aumentar la capacidad de disipación de calor.

El tipo OA/FA/FOA, sumergido en aceite con enfriamiento propio a base aire forzado y aceite forzado, básicamente es un tipo OA, con adición de ventiladores y bombas para circulación de aceite.

El tipo FOA , sumergido en aceite enfriado con aceite forzado y con enfriador de aire forzado. Este tipo se usa únicamente donde se desea que operen al mismo tiempo las bombas de aceite y los ventiladores.

El tipo OW , sumergido en aceite y enfriado con agua, aquí el agua es conducida por serpentines, los cuales están en contacto con el aceite.

El tipo AA , es tipo seco con enfriamiento propio, no contiene aceite ni otros líquidos para enfriamiento, normalmente seon transformadores de baja capacidad.

El tipo AFA , es tipo seco enfriado por aire forzado por ventiladores.

DISPOSITIVOS DE PROTECCION Y CONTROL

Algunos de los dispositivos de protección y control de los transformadores, se describen a continuación:

DIAPHRAGMA:

Este dispositivo está colocado en la tapa superior del transformador; en sí consta de un recipiente tubular y una membrana que resiste una presión determinada y que se rompe cuando la presión interior del tanque se torna peligrosa.

Esto puede ocurrir cuando se presenta un corto circuito en el lado primario o bien un cruzamiento entre devanados, lo que provoca

una elevación de temperatura que ocasiona aumento de presión y fractura de la membrana; permitiendo así la salida del aceite hasta equilibrar las presiones, evitando con ésto que el tanque llegue a explotar.

DETECTOR DE PRESION DE GAS:

Este dispositivo se emplea en transformadores que tienen tanque-conservador de aceite, un relevador detecta la presión que existe en el interior del tanque y actúa conforme a ella, así por ejemplo en caso de un sobrecarga crítica o falla pequeña, provoca un aumento de presión en el tanque del relevador, haciendo sonar una alarma, pero - si la falla es grave y la presión es alta, el relevador manda una señal al control del interruptor de potencia para que saque de servicio al transformador, protegiéndolo así de sufrir un daño mayor.

DESHUMEDIFICADOR:

Este dispositivo se emplea para eliminar la humedad por la condensación en el interior del tanque debido a las variaciones de temperatura. Es un dispositivo que contiene en su interior un inhibidor de humedad (silica-gel) y está conectado al tanque del transformador por medio de tubería adecuada.

INDICADOR DE FLUJO DE ACEITE:

Este dispositivo se emplea en transformadores que como parte de su enfriamiento tienen circulación forzada de aceite, su funcionamiento puede indicar cualquiera de estas situaciones.

- a) Existencia de flujo de aceite.
- b) Ausencia de flujo de aceite (por bomba fuera de servicio, circulación invertida, circuito de aceite cerrado).

INDICADOR DE NIVEL DE ACEITE:

Este dispositivo se emplea para indicar si existe cantidad suficiente de aceite para el enfriamiento del transformador, permitiendo

así también la detección de una falla en el sistema de bombeo o una fuga en el sistema,

TERMOMETRO:

Este dispositivo se usa para conocer la temperatura del aceite y con ello poder determinar si el transformador se encuentra trabajando en condiciones normales. Normalmente los termómetros traen consigo su aguja de arrastre, la cual indica la temperatura máxima alcanzada en un período dado, en ocasiones también cuenta con terminales que se conectan a una alarma que indicará temperaturas anormales de operación.

DETECTORES DE TEMPERATURA:

La temperatura del transformador se lee por medio de termómetros de mercurio o bien por medio de termopares colocados en los devanados que alimentan a milivóltmetros calibrados en °C. Existen varios métodos para controlar la temperatura; los más modernos son el control de temperatura por medio del dispositivo de imagen térmica con relevador Buchholz.

a) Imagen térmica.-

El método de imagen térmica se basa en que cualquier sobrecarga o corto circuito dentro del transformador se manifiesta como una variación de corriente; este dispositivo está constituido por una resistencia de calefacción, o caldeo, alrededor se encuentra una bobina cuya función es recibir la corriente de falla en los devanados que se detecta por medio de un transformador de corriente (TC).

La corriente que circula por la bobina, al incrementarse, crea una cierta temperatura en la resistencia y esto se indica en un milivoltmetro graduado en °C.

El milivóltmetro se conecta por medio de un puntero a un relevador T.R.O. que consiste de 3 microswitchs; el primero opera a una temperatura determinada y conecta el sistema de ventilación, el segundo

cierra a una temperatura mayor que la normal y conecta una alarma, - y el tercero lo hace a una temperatura límite accionando la bobina de disparo del interruptor de potencia, quedando el transformador fuera de servicio.

b) Buchholz.-

El relevador Buchholz, también sirve para controlar la temperatura del transformador; se emplea en los transformadores que usan tanque conservador, el principio de operación se basa en que toda falla interna del transformador va acompañada de una producción de gases. El relevador Buchholz, se conecta en el tubo que va del transformador al tanque conservador, de manera que los gases producidos en aquel hacen que el aceite del tubo suba de nivel, al variar el nivel se mueven flotadores que tienen en su interior el relevador. Los flotadores al moverse accionan un circuito de alarma y si la falla es mayor accionan el disparo.

PROTECCION CONTRA FALLAS INTERNAS Y EXTERNAS

Aemás de los dispositivos de control que se han descrito, los transformadores cuentan con protecciones contra fallas externas y fallas internas:

a) Fallas externas.-

- Corto circuitos.
- Sobretensiones por fallas del sistema.
- Sobrecargas.
- Sobretensiones de origen atmosférico.

b) Fallas internas.-

- Corto circuitos entre espiras o a tierra.
- Fallas entre espiras y núcleo magnético
- Rotura de bobinas.

PROTECCION DE SOBRECORRIENTE:

Un sistema de protección por sobrecorriente es una multiplicidad de coordinación de aparatos individuales que pueden reunirse en tres tipos fundamentales.

- a) Fusibles.
- b) Aparatos con disparo de acción directa.
- c) Relevadores.

Cambian las funciones de detección de fallas e interrupción de - circuitos; no son ajustables, su operación es relativamente lenta en valores moderados de corto circuito y son menos exactos que los relevadores, pero se comparan con los interruptores de disparo de acción directa en bajos voltajes y altas corrientes.

b) Aparatos con disparo de acción directa.-

Un aparato con disparo de acción directa es aquel en que el interruptor es accionado por medio de un mecanismo, cuando la corriente de corto circuito alcanza valores predeterminados. Los aparatos de acción directa pueden ser operados por:

- Una armadura atraída por la fuerza electromagnética creada por la corriente que circula a través de una bobina de disparo.
- Un elemento bimetálico actuado por el calor generado por la corriente de falla.

A éste tipo de aparatos pertenecen los interruptores electromagnéticos y los interruptores termomagnéticos.

c) Relevadores.-

Un relevador es un dispositivo que provoca un cambio brusco en uno o más circuitos eléctricos de control, cuando la cantidad o cantidades medidas a las cuales responde cambian de una manera predeterminada.

Para obtener una eficiente protección, se deben considerar los siguientes principios:

- Seguridad

- Selectividad
- Rapidez
- Simplicidad
- Economía

Los relevadores pueden dividirse en cuatro grupos generales:

- De protección.
- Auxiliares
- Reguladores
- Verificadores

Relevadores de protección.- La función de este relevador es la de detectar fallas en líneas o aparatos, o bien otro tipo de condiciones indeseables; e incitar o permitir una apropiada desconexión al dar una adecuada señal de alarma. Estos relevadores se llaman de alta velocidad cuando su tiempo de operación no excede de tres ciclos en frecuencia de 60 Hz, y de baja velocidad cuando operan en más de tres ciclos para la misma frecuencia.

Relevadores auxiliares.- El relevador auxiliar es usado para asistir en el desarrollo de sus funciones a los relevadores de protección, como respaldo. El uso de relevadores auxiliares en ayuda de los relevadores de protección puede agruparse en tres clasificaciones generales:

- Energizar circuitos de control múltiple.
- Proporcionar la capacidad de los contactos para circuitos de control que necesitan corrientes de mayor intensidad que las que puedan manejarse con seguridad.
- Proporcionar flexibilidad a los arreglos de los contactos.

Relevadores reguladores.- El relevador regulador es aquel cuya función es detectar la variación no deseada de la cantidad medida o variable controlada y restaurar la cantidad dentro de los límites deseados o establecidos con anterioridad.

Relevadores verificadores.- El relevador verificador es aquel cuya función es verificar las condiciones del sistema de fuerza con respecto a límites prescritos, indicando o permitiendo operaciones automáticas, además de abrir un interruptor durante las condiciones de falla. .

DESCRIPCION DEL EQUIPO PRINCIPAL
SUBESTACION DE 230 KV.

Como se observa en el diagrama II.1.1. , la Subestación de 230 KV corresponde al esquema de doble bus, doble interruptor. Este tipo de arreglo proporciona 2 interruptores para cada línea que conecta a la subestación, de tal manera que permite la conexión de ambos buses.

El arreglo de doble bus, doble interruptor, ofrece flexibilidad máxima a la subestación, ya que permite poner en libranza cualquier interruptor o bus por trabajos de mantenimiento y asegura la continuidad del servicio cuando ocurre una falla en alguno de los buses. Para esto, en condiciones normales, ambos interruptores en cada conexión deberán estar cerrados.

Por la cantidad del equipo requerido en este tipo de arreglo es fácil entender que su costo es elevado, pero se justifica ampliamente en subestaciones que son puntos principales de distribución de energía en un sistema de potencia.

Los circuitos que se conectan a la subestación de 230 KV. son:

- Línea de transmisión Atenco.- Consume energía.
- Línea de transmisión Apaxco.- Consume energía
- Enlace de subestación de 400 KV.- Puede aportar o consumir energía, dependiendo de las condiciones del sistema.
- Enlace con el generador principal.- Aporta energía.
- Enlace con transformador de arranque.- Consume energía

A un costado de la subestación se encuentra una sala de control desde donde se supervisa y controla la operación de la subestación. En esta sala se tiene el equipo para supervisar y controlar, un tablero de 480 V. de C.A. y otro de C.D. con su banco de baterías.

CUCHILLAS DE 230 KV.

Son elementos de conexión y desconexión eléctrica de circuitos, que permiten aislar físicamente los interruptores en caso de libranza de líneas o equipos. Normalmente son operados sin carga.

Estas cuchillas se encuentran instaladas en la subestación de 230 KV., en ambos lados de los interruptores de la misma y pueden ser de dos tipos: pantógrafo y horizontales.

CUCHILLAS DE TIPO PANTOGRAFO

Este tipo de cuchillas está instalada del lado bus de los interruptores formando grupos trifásicos en cada conexión de los buses de 230 KV.

La cuchilla pantógrafo en cada fase, (Fig. VII.3.1) consiste de un contacto móvil (1) compuesto por un conjunto de barras conductoras articuladas, en forma de pantógrafo, que al extenderse cierran sobre el contacto fijo (8). El movimiento, del pantógrafo es producido por el mecanismo de operación (2) que se encuentra montado sobre el aislador soporte (3), todo esto ubicado sobre la columna soporte (6) por medio de un motor eléctrico. Este transmite un giro de 90° a través de una columna rotatoria (4) hasta el mecanismo de operación para producir el cierre o apertura de la cuchilla. El contacto fijo se encuentra unido al bus.

La operación de las cuchillas puede efectuarse en las siguientes formas: remoto, local y manual.

La operación a control remoto se efectúa desde el cuarto de control por medio de los interruptores de control de las cuchillas correspondientes. En este modo de operación, el grupo trifásico de cuchillas es accionado en forma simultánea.

La operación local se efectúa por medio de los botones de cierre y apertura ubicados en la caja de mando de cada cuchilla. En este

- ① CONTACTO MOVIL
- ② MECANISMO DE OPERACION
- ③ AISLADOR SOPORTE
- ④ AISLADOR ROTATORIO
- ⑤ COLUMNA SOPORTE
- ⑥ CAJA DE MANDO
- ⑦ PALANCA MANUAL
- ⑧ CONTACTO FIJO
- ⑨ CONEXION INFERIOR
- ⑩ BUS

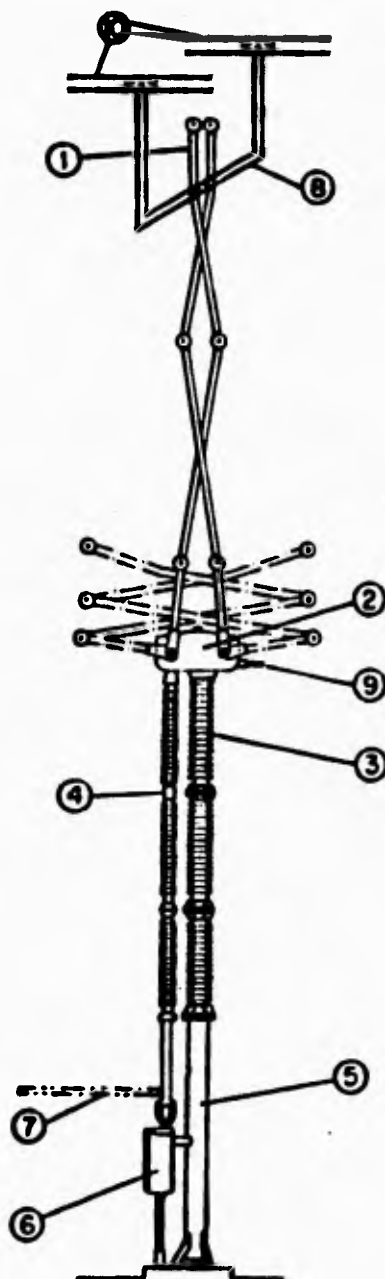


FIG.VII.3.1 CUCHILLA TIPO PANTOGRAFO

modo de operación el accionamiento es individual.

La operación manual se utiliza cuando no se cuenta con suministro de energía eléctrica para potencia o control. Se efectúa por medio de una palanca manual, que se inserta en la barra de transmisión.

Los motores de las cuchillas son alimentados del tablero de 480 VCA., de la subestación.

El circuito de control de las cuchillas es alimentado del bus de 250 VCD., de la subestación.

CUCHILLAS HORIZONTALES

Estas se encuentran instaladas del lado de línea de los interruptores y consiste de 2 aisladores soporte (1) con brazos giratorios (2) sobre una estructura soporte (3) (Fig VII.3.2).

En la caja de mando (4) se localiza el mecanismo de operación. Este consiste de un motor eléctrico que a través de la barra de acople (5) transmite un movimiento giratorio de 90° a los aisladores soporte (1) para lograr que los brazos giratorios abran o cierren.

Los aisladores soporte son giratorios y están unidos por medio de una barra diagonal de tal manera que giran simultáneamente y en sentidos opuestos durante la operación de la cuchilla.

Las cuchillas horizontales pueden ser operadas a control remoto local o manual.

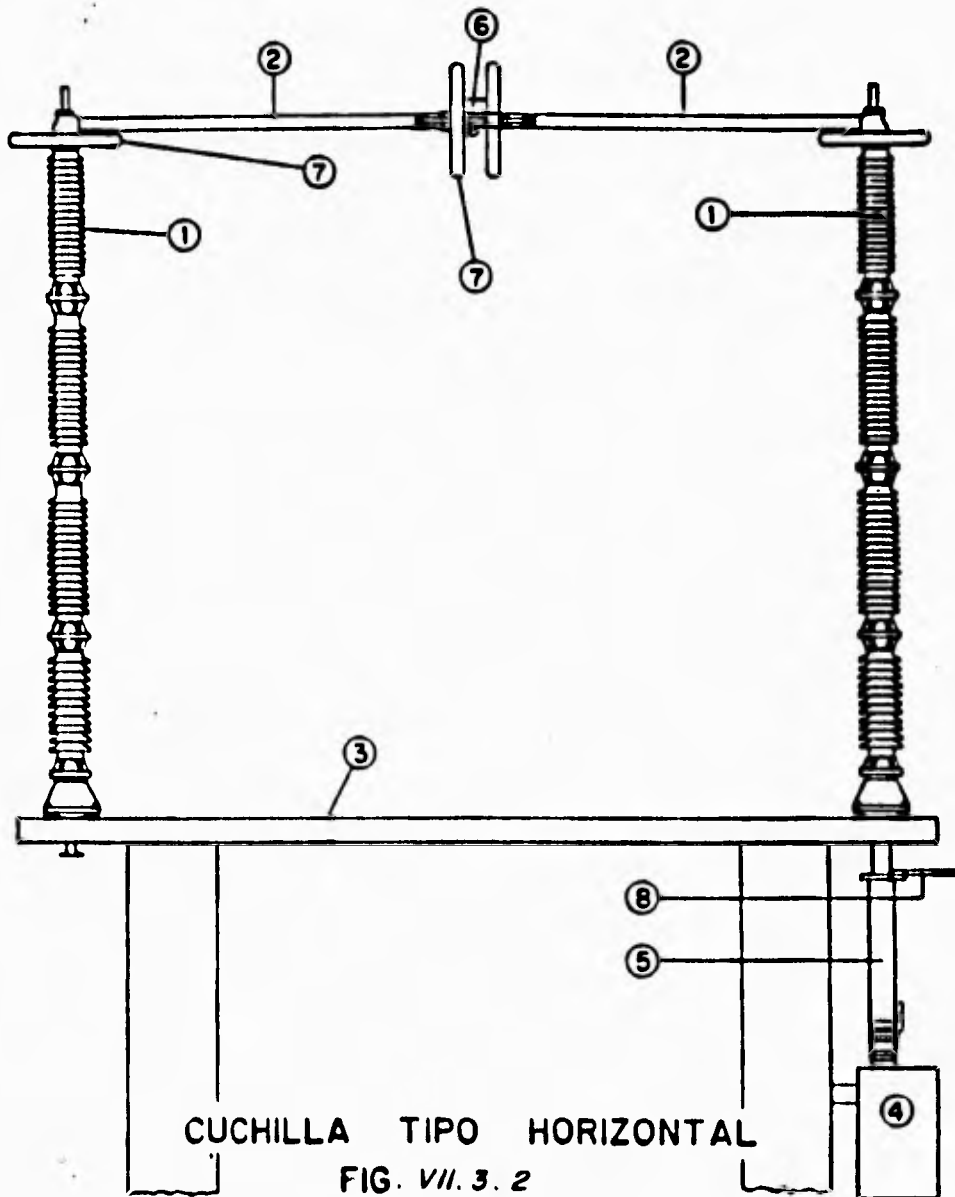
Al igual que las cuchillas pantógrafo, los motores son alimentados del tablero de 490 V y el circuito de control del bus de 250 VCD de la subestación.

INTERRUPTORES DE 230 KV.

Se encuentran instalados en la subestación de 230 KV. y están diseñados para abrir en condiciones de carga normal o bien en condiciones de falla para protección del equipo asociado.

Estos interruptores son del tipo de pequeño volumen de aceite, compuestos de una columna aisladora fija (1) con dos cilindros de corte (2) y una columna giratoria (3). Dependiendo del voltaje que se

- ① AISLADOR SOPORTE
- ② BRAZO GIRATORIO
- ③ ESTRUCTURA SOPORTE
- ④ CAJA DE MANDO
- ⑤ BARRA DE ACOPLA
- ⑥ PIEZA DE CONTACTO
- ⑦ ANILLO PARA EFETO CORONA
- ⑧ PALANCA MANUAL



maneje, estos interruptores se instalan en serie de uno, dos o tres por fase, como se muestra en la (Fig. VII.3.3).

Este arreglo por fase se ubica sobre una base de concreto y se forman grupos trifásicos para cada conexión a los buses de 230 KV.

Los cilindros de corte (Fig. VII.3.4), se encuentran llenos de aceite aislante y alojan en su interior a las cámaras de extinción (10), contactos fijos (11) y contactos móviles (9). El accionamiento de los contactos móviles se efectúa mediante un mecanismo compuesto por palancas y piezas articuladas (6) alojadas en el carter (5). Este mecanismo es impulsado para su operación por el mecanismo de mando del interruptor a través de la columna giratoria (7).

El mecanismo de mando se aloja en un gabinete ubicado en la base del interruptor en cada fase. Funciona a base de resortes cargados que al ser liberados cuando ocurre un disparo, o cierre del interruptor, transmiten un giro de 60° a las tres columnas giratorias simultáneamente produciendo el cierre o apertura en las seis cámaras de extinción conectadas en serie.

Los resortes del mecanismo son cargados automáticamente por medio de un motor eléctrico. Los resortes de cierre y apertura pueden ser cargados también en forma manual mediante una manivela ubicada en el gabinete de mando. Este gabinete se tiene también indicación de la posición del interruptor, indicación de la condición de resortes y palancas para cierre y apertura local del interruptor.

El interruptor puede ser operado a control remoto por medio de los interruptores de control hand swith (HS) ubicados en el cuarto de control o bien en forma local en el gabinete de mando correspondiente.

Las fuentes de energía utilizadas para la operación y control de los interruptores, se toma del tablero de 480 VCA de subestación para los motores de carga de los resortes de cierre y disparo, y del tablero de 250 VCD para los circuitos de control.

Los interruptores pueden ser disparados manualmente a control remoto o localmente; o bien en forma automática por los relevadores

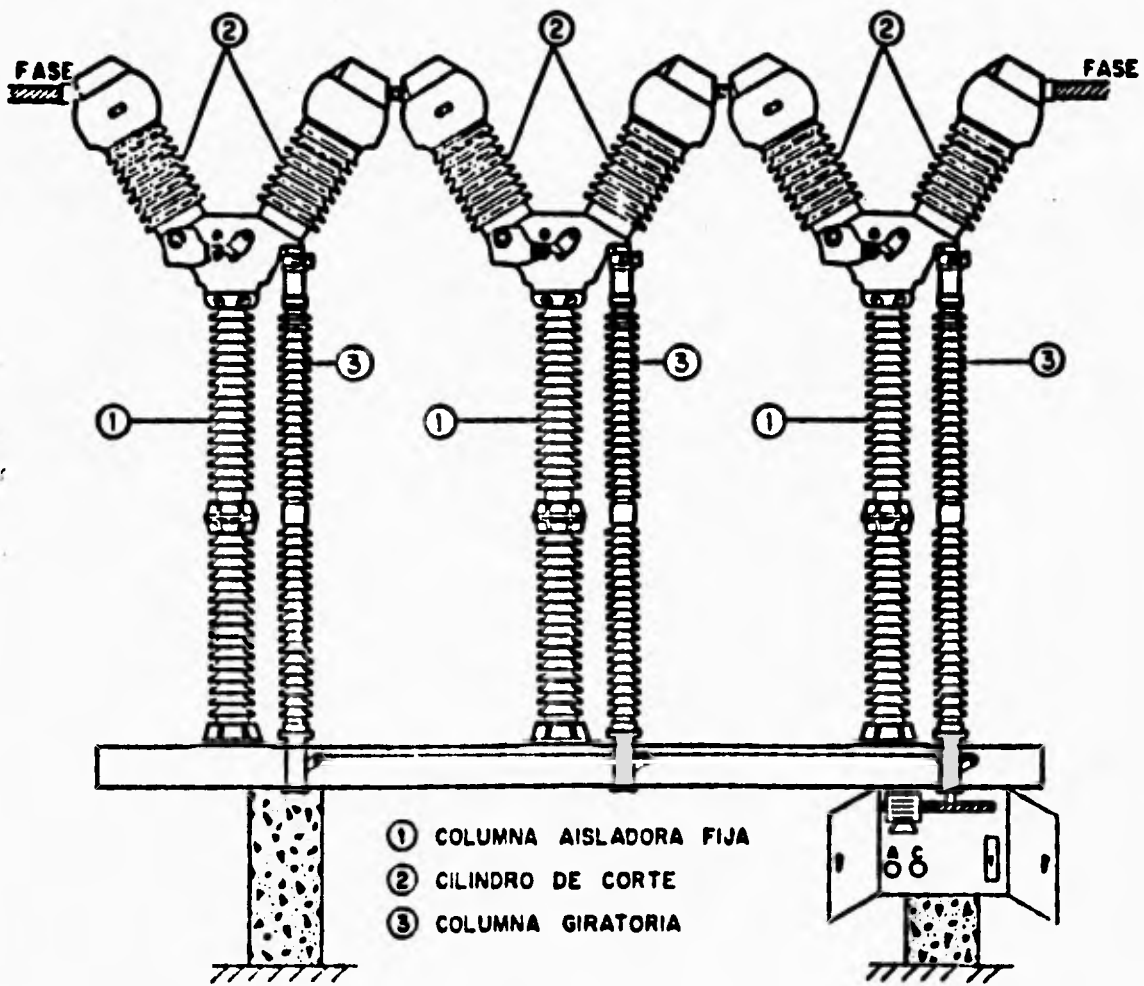
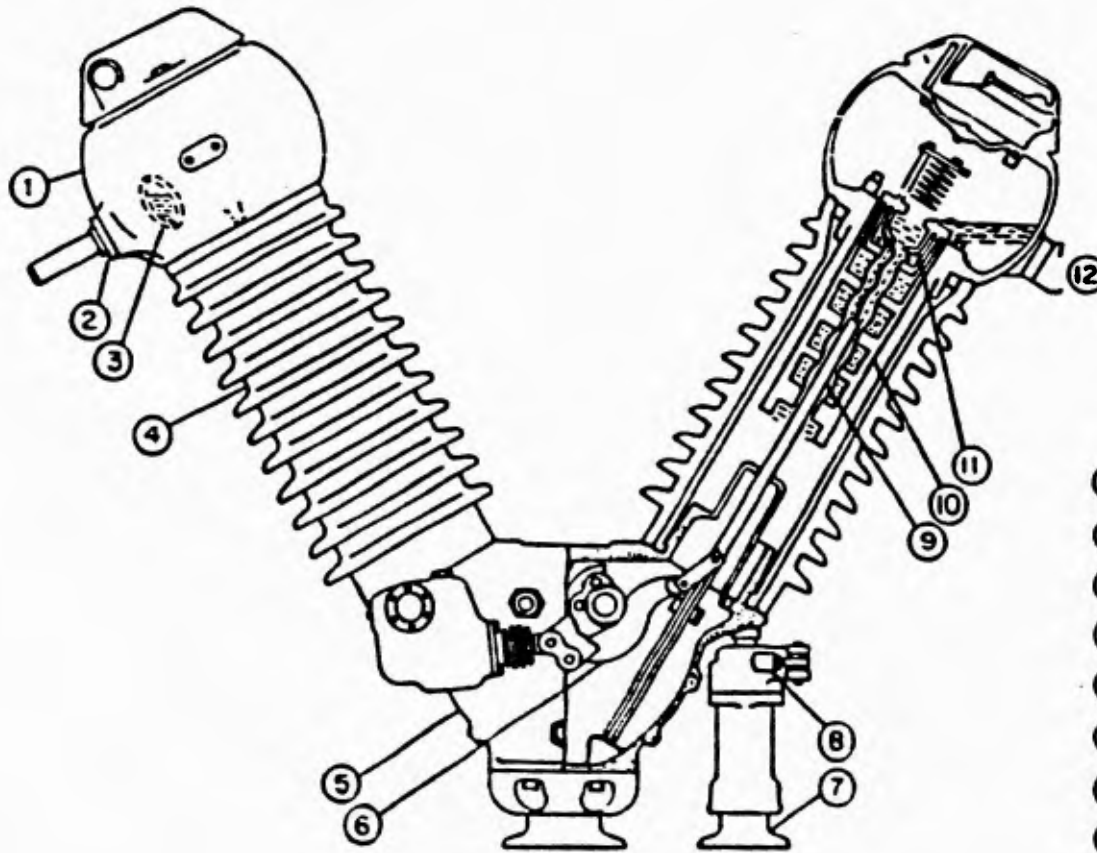


Fig. VII.3.3



- ① CARTER SUPERIOR
- ② TOMA DE CORRIENTE
- ③ CRISTAL DE NIVEL DE ACEITE
- ④ CILINDRO DE CORTE
- ⑤ CARTER DEL MECANISMO
- ⑥ MECANISMO DE CORTE
- ⑦ COLUMNA GIRATORIA
- ⑧ PALANCA DE COLUMNA GIRATORIA
- ⑨ VARILLA DE CONTACTO MOVIL
- ⑩ CAMARA DE EXTINCION
- ⑪ CONTACTO FIJO
- ⑫ CONEXION

FIG. VII. 3.4. CILINDROS DE CORTE

de protección del equipo.

INTERRUPTORES DE 4.16 KV.

Están diseñados para abrir o cerrar a control remoto, local o automáticamente cuando opera alguna protección del equipo asociado - (motores, buses, transformadores).

Estos interruptores (Fig. VII.3.5) están ubicados en cada uno de los gabinetes de los tableros de 4.16 KV, son del tipo removible, de apertura de aire, con mecanismo de accionamiento impulsado - por resortes cargados.

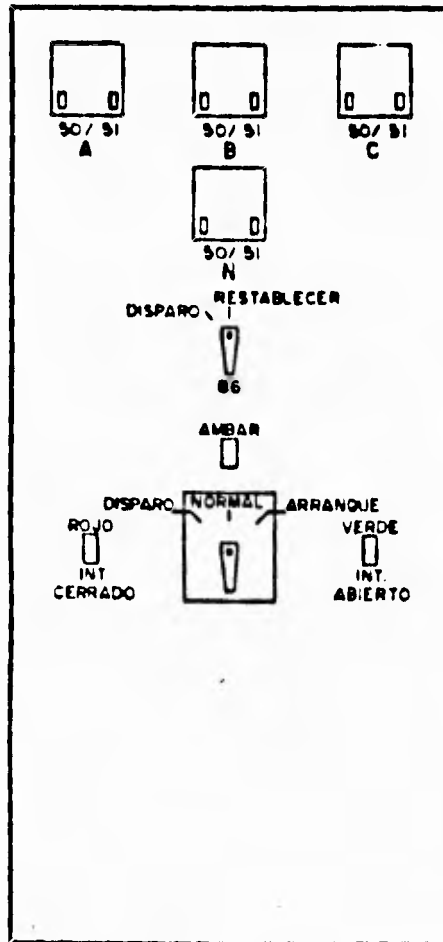
PARTES PRINCIPALES DEL INTERRUPTORE DE 4.16 KV.

Para su ubicación referirse a la (Fig. VII.3.6).

- GABINETE.- Comportamiento de los tableros donde se aloja cada interruptor.
- BARRERA.- Es el blindaje de protección para el personal.
- CAMARAS DE EXTINCION.- Una por cada fase, diseñadas para extinguir el arco eléctrico de apertura.
- BUSES DE 4.16 KV.- Son las 3 barras de cobre localizadas a lo largo de los tableros y que reciben energía del transformador de arranque o de auxiliares.
- TERMINALES DEL BUS.- Son alimentados por los buses mediante cables aislados.
- DEDOS DE CONTACTOS FIJOS.- Con las 3 terminales de los contactos fijos que se conectan con las terminales del bus cuando el interruptor está en posición de conectado.
- CONTACTOS PRINCIPALES FIJOS.- Entregan la potencia eléctrica a los contactos principales móviles.
- CONTACTOS PRINCIPALES MOVILES.- Realizan el cierre del interruptor para entregar la potencia de carga.
- SOPLO DE AIRE.- Ayuda a la extinción del arco aumentando su lon-

DATOS PRINCIPALES:

Capacidad	1200/2000	AMPS.
Capacidad interruptiva	40000	AMPS.
Tiempo de apertura	3	CICLOS.
Tiempo de cierre	4.5	CICLOS.



FRENTE DE GABINETE DE 4160 V.
FIG. VII. 3.5

gitud mediante un flujo de aire comprimido lanzado hacia la cámara de extinción.

- DEDOS DE CONTACTOS MOVILES.- Terminales de los contactos móviles que se conectan con las terminales de carga cuando el interruptor está en posición conectada.
- TERMINALES DE CARGA.- Son las terminales de los cables que llegan directamente a las cargas.
- FLECHA DE INSERCIÓN.- Accionada por manivela para colocar el interruptor en la posición requerida.
- TUERCA.- Está acoplada a la flecha de inserción para que al girar ésta se desplace el interruptor.
- TORNILLO.- Está fijo al gabinete y a él se acopla la tuerca de la flecha de inserción.
- BARRA DE LA CLAVIJA DE CD DE CONTROL.- Mediante su accionamiento se conecta o desconecta la corriente directa de control del interruptor.
- SEGURO.- Asegura la posición de la clavija de CD, de control.
- CLAVIJA DE CD DE CONTROL.- Al conectarse conduce la corriente directa de control al interruptor.
- CONTACTOS SECUNDARIOS DE CD DE CONTROL.- Suministran la CD del interruptor.
- PEDAL.- Se utiliza para liberar el trinquete del carro del interruptor y éste puede desplazarse.
- FUELLE.- Durante la apertura del interruptor suministra un chorro de aire que facilita la extinción del arco y además funciona como amortiguador de los contactos principales.
- RESORTE DE CIERRE.- Hace posible el cierre de los contactos principales móviles, con la rapidez requerida para reducir su flameo y simultáneamente carga al resorte de disparo al cerrar los contactos principales.
- RESORTE DE APERTURA.- Realizan la apertura rápida de los contactos móviles. Al efectuarse el cierre de los contactos principales, automáticamente el resorte de disparo queda cargado.

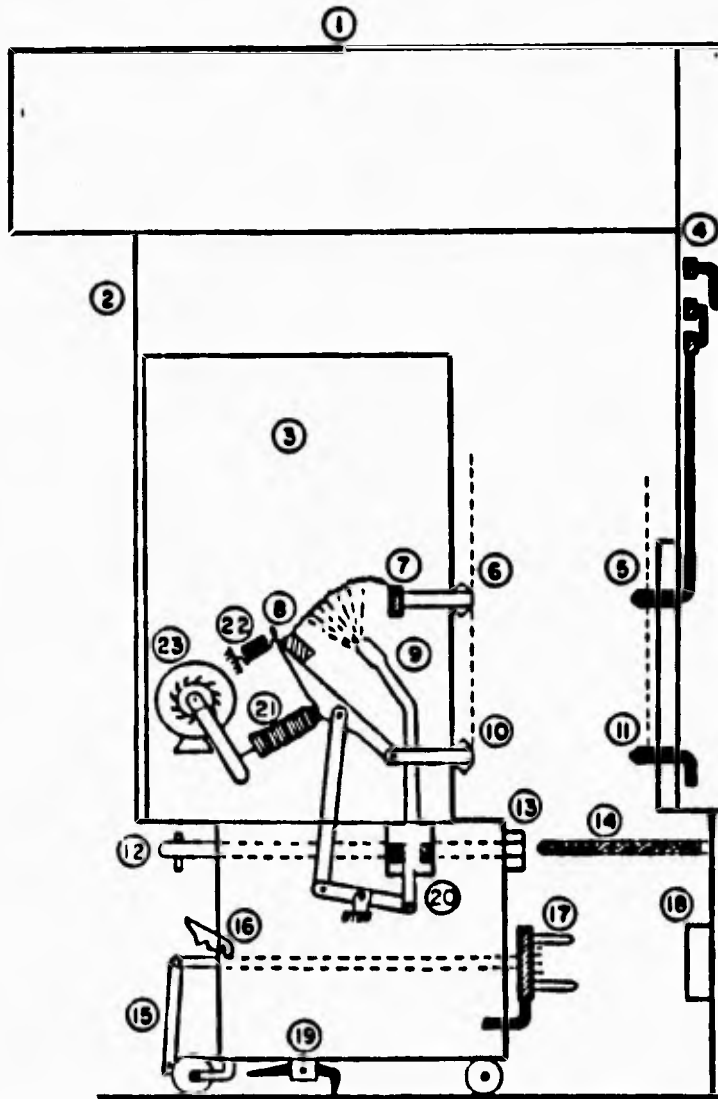


FIG. VII.3.6 INTERRUPTOR DE 4.16 KV.

- MOTOR DE C.D.- Tendiendo disponible C.D., inmediatamente después que el interruptor efectúa un disparo, éste motor se energiza y carga el resorte de cierre.

OPERACION DE LOS INTERRUPTORES DE 4160 V.

Los interruptores de 4.16 KV operan por medio de 2 resortes, - uno de cierre y otro de apertura. Para efectuar el cierre del interruptor, previamente se debe cargar el resorte de cierre, ya sea manualmente o con el motor de C.D. Al efectuarse el cierre del interruptor, el resorte de apertura queda cargado y el cierre descargado, con lo cual el interruptor queda disponible para efectuar una - apertura rápida. Inmediatamente después de que el interruptor ha - abierto sus contactos principales y se dispone de D.C., el motor de C.D. se energiza automáticamente y carga al resorte de cierre, con lo que el interruptor queda disponible para ser cerrado nuevamente, ver (Fig. VII.3.6). En caso de no disponerse de C.D. el resorte de cierre puede ser cargado manualmente por medio de una palanca.

Quando el interruptor es abierto mientras está alimentando una - carga, se produce un arco eléctrico entre contactos fijos y móviles - en cada fase, el cual es desplazado hacia la cámara de extinción por efecto de un flujo de aire comprimido lanzado contra él. hasta extinguirlo totalmente.

Para su operación y mantenimiento, éstos interruptores pueden ser colocados dentro de su gabinete, en 3 posiciones diferentes; "conectado", "prueba" y "desconectado". Esta se logra por medio de su mecanismo de desplazamiento operado manualmente con una manivela.

En la (Fig. VII.3.7) se aprecia el tablero de control local de un interruptor de 4160 V.

- POSICION DE CONECTADO. Es la posición de servicio normal en la - cual se puede operar a control remoto desde la sala de control por medio de su interruptor de control correspondiente (H.S.) o bien

- MOTOR DE C.D.- Tendiendo disponible C.D., inmediatamente después que el interruptor efectúa un disparo, éste motor se energiza y carga el resorte de cierre.

OPERACION DE LOS INTERRUPTORES DE 4160 V.

Los interruptores de 4.16 KV operan por medio de 2 resortes, - uno de cierre y otro de apertura. Para efectuar el cierre del interruptor, previamente se debe cargar el resorte de cierre, ya sea manualmente o con el motor de C.D. Al efectuarse el cierre del interruptor, el resorte de apertura queda cargado y el cierre descargado, con lo cual el interruptor queda disponible para efectuar una - apertura rápida. Inmediatamente después de que el interruptor ha - abierto sus contactos principales y se dispone de D.C., el motor de C.D. se energiza automáticamente y carga al resorte de cierre, con lo que el interruptor queda disponible para ser cerrado nuevamente, ver (Fig. VII.3.6). En caso de no disponerse de C.D. el resorte de cierre puede ser cargado manualmente por medio de una palanca.

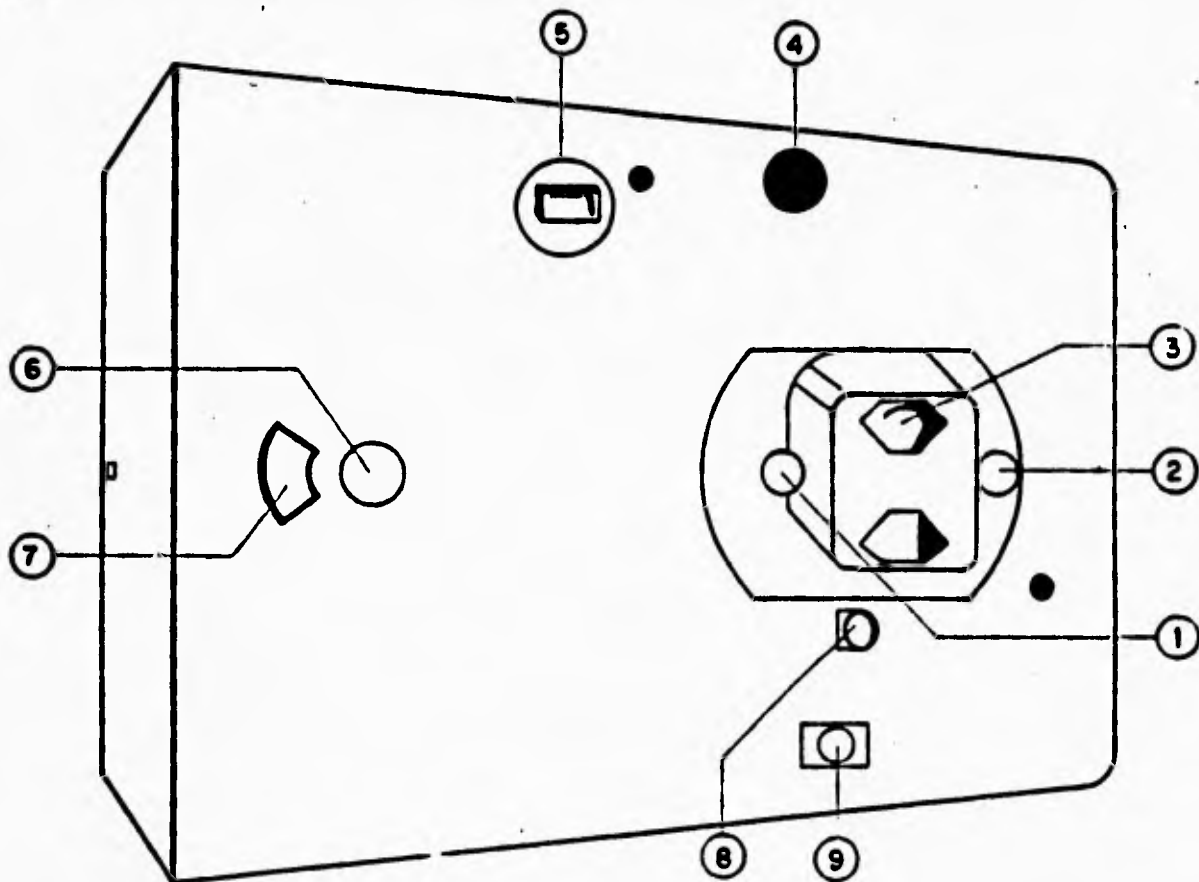
Quando el interruptor es abierto mientras está alimentando una - carga, se produce un arco eléctrico entre contactos fijos y móviles - en cada fase, el cual es desplazado hacia la cámara de extinción por efecto de un flujo de aire comprimido lanzado contra él. hasta extinguirlo totalmente.

Para su operación y mantenimiento, éstos interruptores pueden ser colocados dentro de su gabinete, en 3 posiciones diferentes; "conectado", "prueba" y "desconectado". Esta se logra por medio de su mecanismo de desplazamiento operado manualmente con una manivela.

En la (Fig. VII.3.7) se aprecia el tablero de control local de un interruptor de 4160 V.

- POSICION DE CONECTADO. Es la posición de servicio normal en la - cual se puede operar a control remoto desde la sala de control por medio de su interruptor de control correspondiente (H.S.) o bien

- ① BOTON DE DISPARO
- ② BOTON DE CIERRE
- ③ INDICADOR: ABIERTO (0), CERRADO (1)
- ④ ENTRADA DE LA MANIVELA PARA CARGA DEL RESORTE DE CIERRE
- ⑤ CONTADOR DE OPERACIONES
- ⑥ FLECHA PARA OPERACION LENTA "EXCLUSIVAMENTE PARA MANTENIMIENTO"
- ⑦ INDICACIONES MECANICAS: AMARILLA "RESORTE CARGADO"; BLANCA "RESORTE DESCARGADO"
- ⑧ LLAVE DE TRANSFERENCIA (INTERLOCK OPCIONAL)
- ⑨ BOTON PARA OPERAR EL INTERRUPTOR DE PROTECCION DEL MOTOR



TABLERO DEL MECANISMO DE OPERACION
FIG. VII. 3.7

en forma local accionando su interruptor de control localizado en la puerta del gabinete, cuando se dispone de C.D. de control, o accionando los émbolos de las solenoides de cierre y apertura cuando no se dispone de C.D. de control. Unicamente en esta posición se producirá un disparo automático por la operación de alguna de las protecciones del equipo asociado.

- POSICION DE PRUEBA.- En esta posición los dedos de los contactos fijos y móviles se encuentran separados de las terminales tanto de los buses como de las cargas. Esta posición es usada para verificar el funcionamiento correcto del interruptor sin exponer el equipo alimentado. En ella puede ser operado a control remoto o en forma local, ya sea por medio de los émbolos de las bobinas o por medio de la manija colocada al frente del gabinete, dando señalización remota (HS).
- POSICION DESCONECTADO.- En ésta posición el interruptor puede ser retirado totalmente de su gabinete.

PROTECCIONES DEL INTERRUPTOR.

El interruptor cuenta con un conjunto de protecciones, que bloquean el sistema mecánico o el sistema eléctrico de control para impedir que sea operado en condiciones peligrosas para el equipo o para el personal de operación.

Estas protecciones son las siguientes:

- BLOQUEO DE DESPLAZAMIENTO.- Evita colocar el interruptor en la posición de conectado o retirado de esta posición, cuando los contactos principales están cerrados:
- BLOQUEO DE PROTECCION DE LA CARGA.- Evita que sea cerrado a control remoto después de un disparo automático mientras no sea restablecido el control.
- BLOQUEO DE CIERRE.- Evita que sea cerrado mientras está siendo desplazado de la posición de PRUEBA a CONECTADO o viceversa.

INTERRUPTORES DE 480 V.

Los interruptores de 480 V. se alojan en los gabinetes de los tableros correspondientes sobre una base móvil que les permite desplazarse. Son del tipo de apertura en aire, con mecanismo de accionamiento por resortes cargados, similares a los de 4160 V. descritos anteriormente.

En la (Fig. VII.3.8) se ilustra el frente de un interruptor de este tipo, donde se muestran los dispositivos y señalizaciones con que cuenta para su operación.

PARTES PRINCIPALES DEL INTERRUPTOR DE 480 V.

En la (Fig. VII.3.9) se representa esquemáticamente las partes principales del mecanismo interno del interruptor de 480 V.

El resorte de cierre es cargado en forma automática por medio de un motor eléctrico de 125 VCD o bien por medio de la palanca de carga manual. El resorte de apertura se carga automáticamente al cerrar los contactos móviles y simultáneamente el resorte de cierre es descargado, con lo cual el interruptor queda disponible para efectuar su apertura.

El interruptor puede colocarse en 3 posiciones diferentes mediante un mecanismo accionado con manivela.

- POSICION DESCONECTADO.- En ésta posición el interruptor puede ser totalmente retirado de su gabinete.
- POSICION DE PRUEBA.- Es una posición intermedia en la cual el interruptor puede ser abierto o cerrado a control remoto o localmente.
- POSICION CONECTADO.- Esta es la posición para la operación normal del interruptor. Para colocarlo o retirarlo de esta posición, deberán abrirse previamente sus contactos principales. En esta posición podrá abrirse o cerrarse tanto en forma local como a control remoto y podrá dispararse automáticamente por medio de las protecciones del equipo que alimenta cuando se presente alguna condición,

anormal.

PROTECCIONES MECANICAS DEL INTERRUPTOR DE 480 V.

- En la posición desconectado el interruptor no permite que sus - contactos principales se cierren o se abran. Evita que el resorte de cierre y el resorte de apertura sean cargados, con lo cual se impide cualquier operación.
- En la posición conectado el interruptor no permite que seaaextraí- do de su gabinete cuando sus contactos principales se encuentran - cerrados.
- Evita que el interruptor sea cerrado mientras que la manivela no ha sido retirada del interruptor.

CONCLUSIONES

Todos los sistemas que comprendan una Central Termoeléctrica han sido descritos con el objetivo de que el personal involucrado con el manejo y operación, tenga las herramientas necesarias para que en un momento dado; durante las operaciones normales, puedan atacar con éxito cualquier eventualidad que se pueda presentar.

Con lo anterior; alargará la vida del equipo, eliminará algún riesgo y aumentará la eficiencia de la Central, en beneficio; tanto de los usuarios, como de Comisión Federal de Electricidad.

En este trabajo se abarcaron los sistemas y los principales componentes de estos que conforman una Central Termoeléctrica, sus características, condiciones de operación, así como algunas recomendaciones del buen uso de los equipos. Con esto creemos que al personal que le corresponde su manejo, lo realice de la forma más eficiente y segura para que de esta forma se eviten errores que puedan causar daños al equipo, o lo más grave, daños personales.

Las Centrales Termoeléctricas se dividen en tres grupos principales de operación. El generador de vapor es el que por lo general contribuye en mayor grado a reducir en disponibilidad a las unidades de generación. Esto es debido, en parte a que es uno de los equipos que tiene condiciones de trabajo más severas, en parte a que es más susceptible a que se cometan con él errores de operación.

Como es obvio es deseable incrementar la disponibilidad de las Centrales Termoeléctricas, pero las condiciones de trabajo de los Generadores de vapor, dependen la mayoría de las veces de eventos impredecibles, por lo que al respecto es poco lo que se puede hacer. Sin embargo, los generadores de vapor que son operados correctamente impactan significativamente en las disponibilidades de las Centrales Termoeléctricas.

En el presente trabajo se estudiaron dos de los sistemas más importantes del generador de vapor, donde con frecuencia se presentan fallas por errores de operación, el sobrecalentador y el recalentador.

Se trató de enfocar su estudio al aspecto operativo, con el fin de reducir los errores de operación y así aumentar la disponibilidad de las Centrales Termoeléctricas en general.

A medida que las unidades generadoras de energía eléctrica se han tenido que diseñar de mayor capacidad para poder satisfacer el constante incremento de la demanda, y es por esto que todos los elementos que intervienen en el ciclo de generación también se han tenido que mejorar enormemente. Dentro del ciclo termodinámico, el generador de vapor, es uno de los componentes vitales de las unidades generadoras, y se le han realizado mejoras para que la eficiencia del ciclo sea lo más óptimo posible. Los costos que implica una mínima falla en el generador de vapor son muy altos, por lo cual es importante que el personal encargado de operar estos equipos tenga conocimiento del procedimiento y de los componentes que los compongan. Al ser operado correctamente el generador de vapor se tendrá una vida útil mayor y abatirá los altos costos de mantenimiento y operación.

El presente trabajo expone en forma ordenada y sencilla los componentes de una Central Termoeléctrica. El no conocer estrictamente las partes y procedimientos operativos así como las recomendaciones de los fabricantes de los equipos, ocasiona daños muy considerables que pueden ser desde una mala combustión por mala relación aire combustible hasta una rotura de tubería del generador de vapor.

Por otro lado tenemos, la turbina y al generador eléctrico los cuales son descritos en capítulos diferentes, pero los dos interactúan al final del ciclo de generación. Se han descrito los componentes y funcionamiento de la turbina, ya que, el desconocimiento parcial o total, podría impactar en daños graves a la misma, disminución de la eficiencia del ciclo afectando gravemente la disponibilidad y por consiguiente, elevando los gastos de operación y mantenimiento de la unidad generadora.

En este aspecto, tanto los conocimientos adecuados de los componentes de la turbina, así como su funcionamiento le permiten al ingeniero como a los operadores de la turbina y del generador actuar con acierto oportuno en cualquier etapa de la operación alargando de este modo, la vida útil de la turbina.

El generador eléctrico es uno de los elementos más importantes dentro de la operación de las unidades de generación, y para su funcionamiento necesita de la correcta operación de sus equipos auxiliares.

El mal funcionamiento de sus auxiliares provocará una disminución de su capacidad, calentamientos, consumo de vida, envejecimiento de su aislamiento y puede llegar a explotar por la combinación del aire e hidrógeno al fallar los sellos de aceite. Es de notarse también el impacto severo que puede ocasionar al sistema que se encuentre interconectado, por lo que el operador deberá siempre tener una estrecha vigilancia de todos los parámetros del generador eléctrico y sus auxiliares, para que se eviten fallas, se tenga que aislar, y además poder corregir cualquier problema que se pudiera presentar. De esta manera se aumenta la confiabilidad, eficiencia y disponibilidad del generador, del sistema y de toda la unidad generadora.

Posiblemente el área de instrumentación y control es la más importante para el manejo de una Central Termoeléctrica que ya este automatizada. El conocimiento total de esta área es de suma importancia y debe ser manejada por todo el personal de operación ya que actualmente se ha convertido en una necesidad debido al crecimiento acelerado en cuanto a capacidad y tecnología de las Centrales Termoeléctricas.

Los sistemas de corriente directa y planta diesel de emergencia son los sistemas de respaldo más importantes para el sistema eléctrico ya que mediante ellos se suministra la energía para la operación de los esquemas de control, protección y señalización de la Central. Además, también alimenta al equipo esencial en condiciones de emergencia.

Por ello se deduce que, estos dos sistemas siempre deben encontrarse disponibles y ser estrechamente supervisados para que ante cualquier disturbio que surja, se le pueda dar una rápida solución, ya que de lo contrario el problema se puede agudizar quedando en una situación altamente peligrosa, tanto para el personal como para el equipo de la Central Termoeléctrica.

Finalmente, para que el personal pueda atacar con éxito cualquier eventualidad en el manejo y operación del sistema de combustible debe conocerlo plenamente. Este conocimiento debe ser desde su abastecimiento hasta su combustión en los quemadores. Con lo anterior se alargará la vida del equipo, se podrán evitar riesgos de explosión y aumentará la eficiencia de la Central.

Resumiendo, es de vital importancia el conocimiento integral de los diferentes sistemas de operación que componen una Central Termoeléctrica porque ello permitirá la optimización de los recursos disponibles y la eficiencia en la producción de energía eléctrica así como la seguridad del personal.

B I B L I O G R A F I A

- **TERMODINAMICA.**
JOSE A. MANRIQUE.
ED. HARLA.
1981.
- **ENERGIA MEDIANTE VAPOR, AIRE O GAS.**
W.H. SEVERNS Y H.P. DEGLER.
ED. BLUME.
1980.
- **APUNTES DE TERMODINAMICA DE LA CENTRAL ESCUELA CELAYA.**
ING. LUIS CARDENAS SOLIS e ING. CARLOS HERNANDEZ HERRERA.
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.
1978.
- **FI S I C O Q U I M I C A.**
GILBERT W. CASTELLAN.
ED. SITESA.
SEGUNDA EDICION, 1987.
- **MANUAL DEL INGENIERO MECANICO.**
BAUMEISTER, AVALLONE & BAUMEISTER.
OCTAVA EDICION, 1985.
- **MANUAL DEL INGENIERO MECANICO.**
ING. RICARDO ROSAS MOYA.
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.
1988.
- **BOMBAS SU ELECCION Y APLICACION.**
TYLER & HICKS.
TERCERA EDICION, 1980.
- **DI SEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS.**
V.M. PAIRES.
PRIMERA EDICION,
- **ENERGIA ELECTRICA E HI DROELECTRICA.**
VIEJO ZUBICARAY Y ALONSO.
1987
- **CENTRALES TERMoeLECTRICAS.**
V. YA. RIZHKIN.
ED. MIR MOSCU.
PRIMERA Y SEGUNDA PARTE, 1984.

- AUTOMATIC BURNER CONTROL.
MANUAL DESCRIPTIVO DEL FABRICANTE.
HITACHI.
1980.
- BURNER CONTROL SYSTEM.
MANUAL DESCRIPTIVO Y OPERATIVO DEL FABRICANTE.
HITACHI.
1980.
- SEMINARIO DE PRUEBAS DE COMPORTAMIENTO EN CENTRALES
GENERADORAS.
ING. GERARDO SOLANA e ING. GABRIEL AGUILAR ALPIZAR.
OFICINA DE PRUEBAS DE ACEPTACION Y EVALUACION.
GERENCIA DE LABORATORIO, COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.
1988.
- MANUAL DESCRIPTIVO Y OPERATIVO DE LA CENTRAL TERMoeLECTRICA
" MERIDA II ".
ING. ABRAHAM JIMENEZ AGUILAR.
DEPARTAMENTO DE OPERACION Y RESULTADOS.
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, 1980.
- APUNTES DEL PROYECTO SIMULADOR DE CENTRALES TERMoeLECTRICAS.
GERENCIA DE GENERACION Y TRANSMISION.
CENTRO DE ADIESTRAMIENTO DE OPERADORES, IXTAPANTONGO.
1989.
- PROCEDIMIENTO DE OPERACION PARTICULAR DE LOS SISTEMAS GAS,
DIESEL Y COMBUSTOLEO.
ING. HECTOR ARGOTE MINGRAM, ING. GILBERTO REYNA.
CENTRAL TERMoeLECTRICA " PCO. PEREZ RIOS, TULA HGO. "
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, 1985.
- MANUAL DE OPERADORES DE TABLEROS DE CONTROL DE CENTRALES
TERMoeLECTRICAS.
ING. RAMON SOLIS e ING. JOSE LUIS HERNANDEZ BORGES.
CENTRAL TERMoeLECTRICA " MERIDA II ".
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, 1980.
- MANUAL DESCRIPTIVO Y OPERATIVO DEL SISTEMA DE COMBUSTION.
MITSUBISHI.
CENTRAL TERMoeLECTRICA " MERIDA II ".
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, 1980.
- MANUAL DESCRIPTIVO Y OPERATIVO DEL SISTEMA ELECTRICO.
ING. ENRIQUE ROJAS e ING. EFRAIN HERNANDEZ.
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.
1987.

- TRATAMIENTO Y CONTROL DEL SISTEMA DE AGUA DENTRO DE LA CENTRAL TERMoeLECTRICA " FCO. PEREZ RIOS, TULA, HGO. ".
ING. JOSE ANTONIO MARTIN VEGA • ING. MANUEL SALAS M.
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, 1987.

- SEMINARIO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR.
ING. LIBORIO SANTANA CHAN • ING. OCTAVO OJEDA CORDERO.
OFICINA DE PRUEBAS DE ACEPTACION Y EVALUACION.
GERENCIA DE LABORATORIO.
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, 1988.

- TRATAMIENTO Y CONTROL DEL SISTEMA DE AGUA DENTRO DE LA CENTRAL TERMoeLECTRICA " FCO. PEREZ RIOS, TULA, HGO. ".
ING. JOSE ANTONIO MARTIN VEGA • ING. MANUEL SALAS M.
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, 1987.

- SEMINARIO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR.
ING. LIBORIO SANTANA CHAN • ING. OCTAVO OJEDA CORDERO.
OFICINA DE PRUEBAS DE ACEPTACION Y EVALUACION.
GERENCIA DE LABORATORIO.
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, 1988.