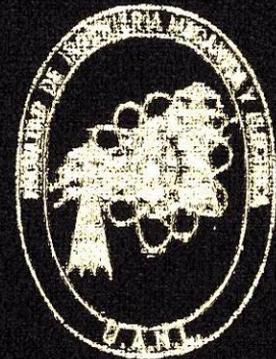
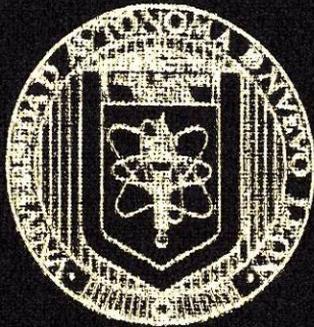


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y ELECTRICA



CENTRALES TERMoeLECTRICAS

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ADMINISTRADOR

PRESENTA:

FRANCISCO JAVIER RODRIGUEZ PANDELI

ASESOR: ING. JUAN HERNANDEZ IBARRA

GD UNIVERSITARIA

MARZO DE 1997.

T

TK136

R6

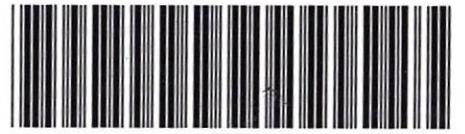
c. 1

7

TK1360

R6

C.1



1080072280

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y ELECTRICA



CENTRALES TERMoeLECTRICAS

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ADMINISTRADOR

PRESENTA:

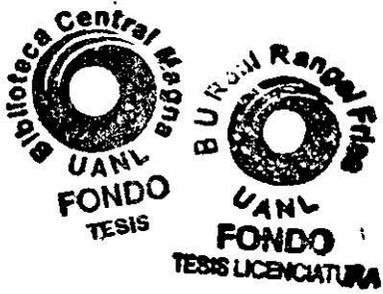
FRANCISCO JAVIER RODRIGUEZ PANDELI

ASESOR: ING. JUAN HERNANDEZ IBARRA

CD. UNIVERSITARIA

MARZO DE 1997.

T  
TK1360  
R6



## **AGRADECIMIENTO**

**A Dios:** *por haberme dado con su inseparable compañía la suficiente fortaleza y paciencia para seguir adelante en todo momento durante mi vida de estudiante.*

**A Mis Padres:** *a quienes viviré enteramente agradecido por su incondicional apoyo moral y económico que con su trabajo y esfuerzo depositaron en mí para darme la oportunidad de abrirme camino en la vida por medio de la educación recibida.*

**A Mi Abuelita y A Mi Yaya:** *quienes en ningún momento se olvidaron de mi en sus oraciones pidiendo siempre por mi salud y bienestar, influyeron mucho para que pudiera lograr mi objetivo.*

**A MI Novia Laura:** *que gracias a su sincera compañía y comprensión y a todos esos consejos que hicieron volvieran a mí esa confianza en mí mismo que me dio la fuerza y determinación para poder llegar hasta aquí.*

**A Mis Maestros:** *que gracias a su esfuerzo y dedicación lograron hacer de mí una persona de bien y es a ellos a quienes debo todo lo que sé y gran parte de lo que soy.*

# ÍNDICE

I.- INTRODUCCIÓN.....	1
II.- DESCRIPCIÓN GENERAL.....	2
III.- COMPONENTES.....	5
IV.- GENERADORES DE VAPOR.....	6
a) Descripción de un Generador de Vapor.....	6
b) Partes Principales de un Generador de Vapor.....	7
c) Combustibles Utilizados en un Generador de Vapor.....	10
d) Sistema de Alimentación de un Combustible.....	10
e) Sistema de Agua de Alimentación.....	14
f) Tratamiento Químico Utilizado en el Agua del Generador de Vapor.....	16
g) Sistema Aire - Gases.....	16
h) Protecciones de un Generador de Vapor.....	18
i) Sistema Auxiliares e Instrumentación de un Generador de Vapor o Caldera..	19
V.- TURBINAS DE VAPOR.....	22
a) Descripción de una Turbina de Vapor.....	22
b) Partes Principales de una Turbina.....	23
c) Sistema de Control de Velocidad de una Turbina.....	26
d) Sistema de Lubricación.....	26
e) Sellos de Vapor.....	27
f) Condensador Principal.....	29

Sistema de Vacío del Condensador Principal.....	31
g) Extracción de Vapor.....	33
<b>VI.- GENERADORES DE C. A. (ALTERNADOR).....</b>	<b>36</b>
a) Descripción de un Generador de Corriente Alterna Generadores de C. A. Instalados en las Centrales Termoeléctricas.. ..	36
b) Sistema de Enfriamiento de un Generador de C. A. ....	37
c) Sistema Aceite de Sellos. ....	38
d) Excitación del Generador de C. A. ....	38
<b>VII.- SUMINISTRO DE AGUA A LA CENTRAL. ....</b>	<b>40</b>
<b>VIII.- SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE CARBÓN. ....</b>	<b>45</b>
<b>IX.- SISTEMA DE CONDENSADO. ....</b>	<b>47</b>
<b>X.- SUBESTACIÓN ELÉCTRICA.....</b>	<b>50</b>
<b>XI.- PROCEDIMIENTO GENERAL DE ARRANQUE.....</b>	<b>52</b>
<b>XII.- PARO DE UNA UNIDAD. ....</b>	<b>60</b>

# I.- INTRODUCCIÓN

El presente curso de centrales termoeléctricas ha sido creado con la finalidad de servir a todas aquellas personas interesadas en conocer algo más sobre centrales termoeléctricas.

En su contenido están descritos los principales sistemas componentes así como un procedimiento general de operación ya que la misma es riesgosa y costosa a la vez al no efectuarse bien una maniobra.

Las centrales termoeléctricas de mayor capacidad instaladas en la República Mexicana son las instaladas por la Comisión Federal de Electricidad; sin embargo en la actualidad existen plantas propiedad de la iniciativa privada y además en la etapa de modernización que vive el país. La iniciativa privada está invirtiendo en centrales termoeléctricas de gran capacidad.

Las centrales termoeléctricas es una aplicación de primera ley de la termodinámica donde la energía se va transformando de una forma a otra hasta obtener la energía eléctrica.

## II.- DESCRIPCIÓN GENERAL

Una central termoeléctrica es un conjunto de equipos cuyo objetivo es la producción de energía eléctrica partiendo de un combustible el cual es suministrado por medio de un mecanismo hasta el hogar y horno del generador de vapor donde se provoca la combustión suministrado por un ventilador denominado tiro forzado y un transformador de ignición que alimenta de C. D., al electrodo de un bujía provocando una chispa efectuándose la combustión.

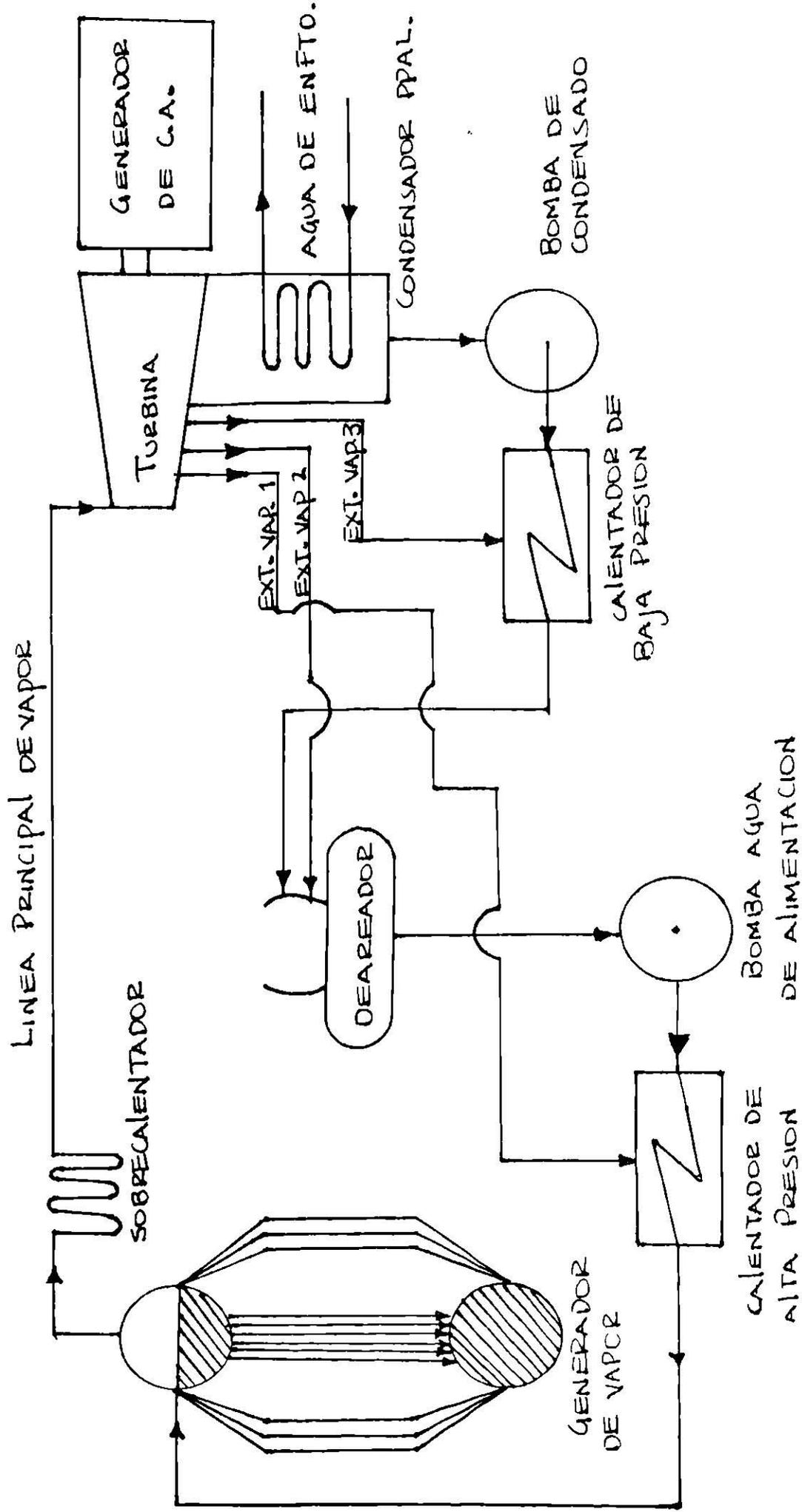
El generador de vapor previamente es llenado con agua de buena calidad químicamente hablando; agua que al ser calentada se convierte en vapor de agua; este último es almacenado a alta presión y temperatura en un recipiente cilíndrico horizontal llamado domo o colector de vapor.

El vapor de agua alta presión y temperatura es transportado a través de una línea principal hasta la turbina de vapor donde se expande convirtiéndose su energía calorífica en energía cinética, la cual hace girar la turbina y por consiguiente al generador de C. A. (alternador) produciendo así la energía eléctrica que es mandada a una subestación eléctrica a través de un interruptor principal y un transformador elevador de voltaje. De la subestación eléctrica salen las líneas de transmisión que conducirán la energía eléctrica hasta los centros de consumo.

Volviendo con el ciclo agua - vapor el vapor que trabajó en la turbina una vez que pierde presión y temperatura es condensado por medio de un intercambiador de calor de superficie utilizando agua procedente de una torre de enfriamiento. Una vez condensado el vapor es succionada el agua por medio de una bomba que se encarga de incrementar su presión y hacerla pasar por unos calentadores de agua de alimentación hasta otro intercambiador de calor llamado dereador que cumple con dos funciones; primero como calentador de agua y segundo para desalojar los gases indeseables del sistema que pudieran producir corrosión en tuberías y en el generador de vapor después del dereador se tiene una bomba de agua de alimentación que se encarga de suministrar el agua al generador de vapor. Después del dereador se tiene una bomba de agua de alimentación que se encarga de suministrar el agua al generador de vapor o caldera para mantener un nivel correcto de operación y seguir produciendo vapor el cual regresará a la turbina para cerrar el ciclo termodinámico llamado rankine o regenerativo según sea el caso si utiliza o no calentadores de agua de alimentación.

El diagrama N°. 1 muestra el ciclo agua - vapor de una central termoeléctrica.

DIAGRAMA NO. 1 CICLO AGUA-VAPOR DE UNA CENTRAL TERMOELECTRICA



### **III.- COMPONENTES**

Una central termoeléctrica está compuesta principalmente por un generador de vapor, una turbina y un alternador o generador de corriente alterna.

Es obvio que para que el equipo anterior funcione eficientemente se requiere de una gran cantidad de equipos auxiliares como son bombas, compresores, interruptores, transformadores, intercambiadores de calor, etc.

Posteriormente durante el curso se irán mencionando los diferentes equipos que complementan una central termoeléctrica.

## **IV.- GENERADORES DE VAPOR**

### **a) DESCRIPCIÓN GENERAL.**

Un generador de vapor es un conjunto de elementos que sirven para producir vapor de agua por medio de la combustión.

Los generadores de vapor pueden ser: acuotubulares o pirotubulares para flujos pequeños.

En las centrales termoeléctricas debido a la gran cantidad de vapor utilizado para hacer girar la turbina por lo regular son acuotubulares.

Los generadores de vapor en cuanto a su presión en el hogar pueden ser de presión positiva donde se utiliza el ventilador de tiro forzado solamente o bien de tipo balanceado donde se utiliza además de un ventilador de tiro inducido provocándose una presión negativa en la cámara de combustión. El proceso que lleva un generador o caldera para la producción de vapor es el siguiente: el agua de alimentación suministrada por una bomba es almacenada en el domo superior donde es controlado su nivel a partir de ahí el agua descendiendo por tubos llamados (Down-Commers) hasta los cabezales que alimentan las paredes de agua se encuentran rodeando el hogar o cámara de combustión de tal manera que el agua empieza a ser calentada por medio del calor liberado en la combustión hasta llegar a su punto de

ebullición ascendiendo el vapor por otros tubos hasta llegar al domo superior o colector de vapor donde mitad es agua y mitad vapor dicho vapor es saturado y como en la turbina se requiere vapor seco es por ello que el vapor se hace pasar por un sobrecalentador donde se le incrementa su temperatura por medio de los gases de la combustión. Cabe mencionar que los gases de la combustión son hechos pasar por otros elementos del generador donde entregan calor, esto se verá con detalle en el inciso de sistemas aire - gases.

## **b) PARTES PRINCIPALES DE UN GENERADOR DE VAPOR.**

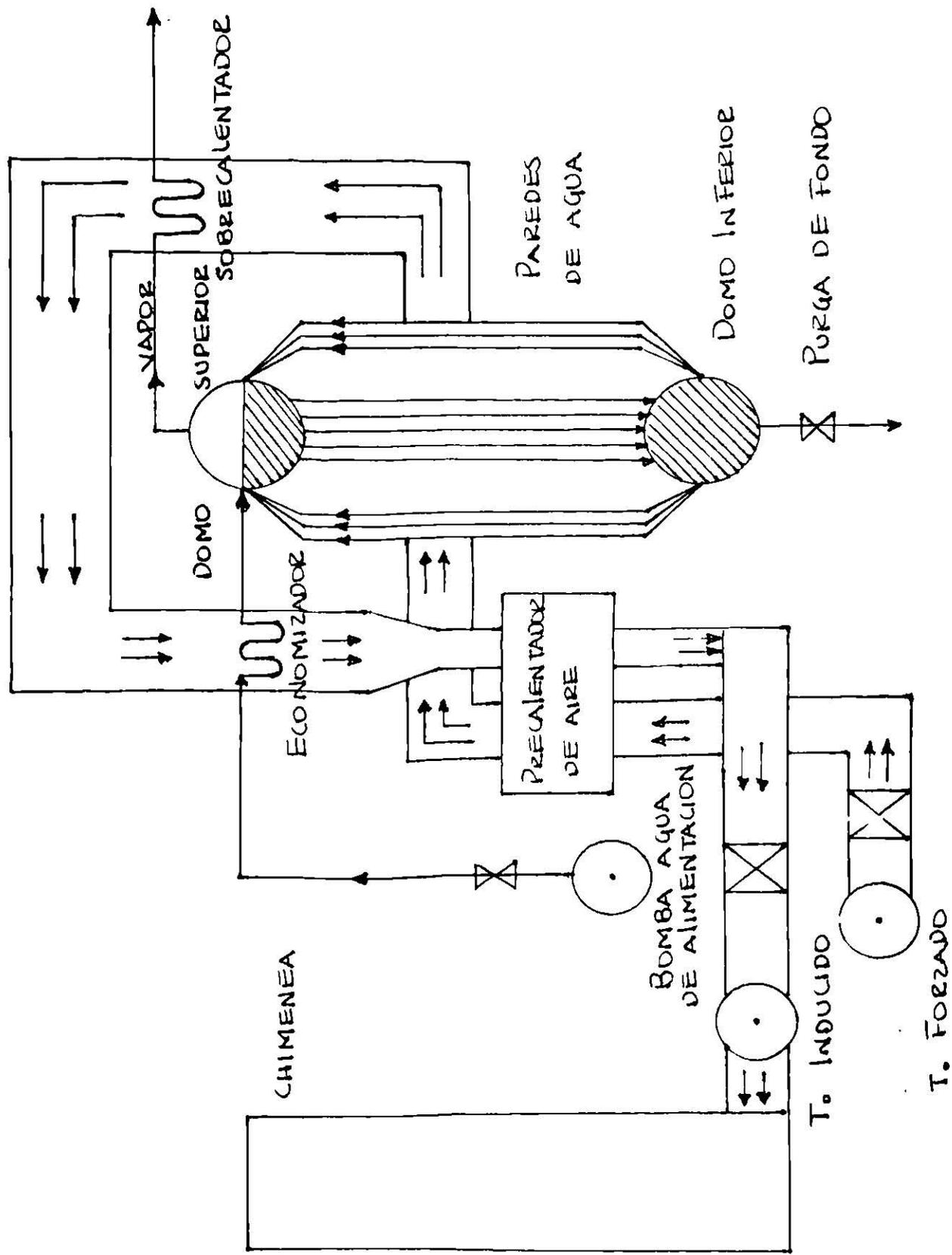
La mayoría de los generadores de vapor usados en centrales termoeléctricas cuentan con las siguientes partes:

- 1.-Paredes de agua.
- 2.-Domo superior e inferior.
- 3.-Hogar o cámara de la combustión.
- 4.-Quemadores y pilotos.
- 5.-Sobrecalentadores.
- 6.-Precalentador de aire.
- 7.-Economizadores.
- 8.-Ventilador de tiro forzado.
- 9.-Chimenea.

Algunos generadores de vapor utilizan recalentadores y otros equipos auxiliares como son válvulas, compuertas, instrumentación, control y protección para un buen funcionamiento de la misma.

En el siguiente diagrama N°. 2 se aprecian sus partes principales y equipos auxiliares.

DIAGRAMA No. 2 GENERADOR DE VAPORE



### **c) COMBUSTIBLES UTILIZADOS EN LOS GENERADORES DE VAPOR**

Los combustibles utilizados en un generador de vapor son gas natural, diesel combustóleo y carbón mineral no coquizable. En la actualidad la Comisión Federal de Electricidad tiene instaladas a nivel nacional centrales termoeléctricas que utilizan los combustibles anteriores; por ejemplo planta San Jerónimo ubicada al poniente de la Cd., de Monterrey, N.L., utiliza gas natural; la central termoeléctrica Monterrey ubicada en Apodaca, N.L., utiliza gas natural como encendido de la caldera y posteriormente utiliza combustóleo cabe mencionar que es más barata la producción de vapor con combustóleo que con gas natural sin embargo es más costoso el mantenimiento de las calderas que queman combustóleo por su alto contenido de azufre.

En la región carbonífera de Coahuila se tienen instaladas dos plantas a basar de carbón mineral no coquizable extraído de una mina localizada a unos 20 kms., de la planta y uno de los problemas más severos es el alto contenido de cenizas que provoca erosión en las turbinas.

### **d) SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE A LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA.**

Existen diversos sistemas de alimentación de combustible dependiendo de que el combustible sea utilizado; la mayoría de las centrales utilizan como

combustible de encendido el gas natural o el diesel y posteriormente utilizan combustóleo o carbón.

El diagrama N°. 3 muestra un sistema de gas natural típico en una central.

El diagrama N°. 4 muestra un sistema de suministro de combustóleo.

De los combustibles anteriores el combustóleo requiere de un sistema de calentamiento por medio de vapor de las propias calderas utilizando intercambiadores de calor, además el combustóleo es suministrado al hogar de la caldera utilizando vapor de atomización.

Con relación al carbón éste es transportado desde la mina hasta la planta por medio de bandas transportadoras, ferrocarril o camiones.

Una vez en la central pasa por unos trituradores o molinos y posteriormente a los silos alimentadores de los pulverizadores donde el carbón se convierte en polvo fino que es arrastrado por medio de aire hasta los quemadores.

DIAGRAMA No. 3 SISTEMA DE GAS NATURAL A CALDERA

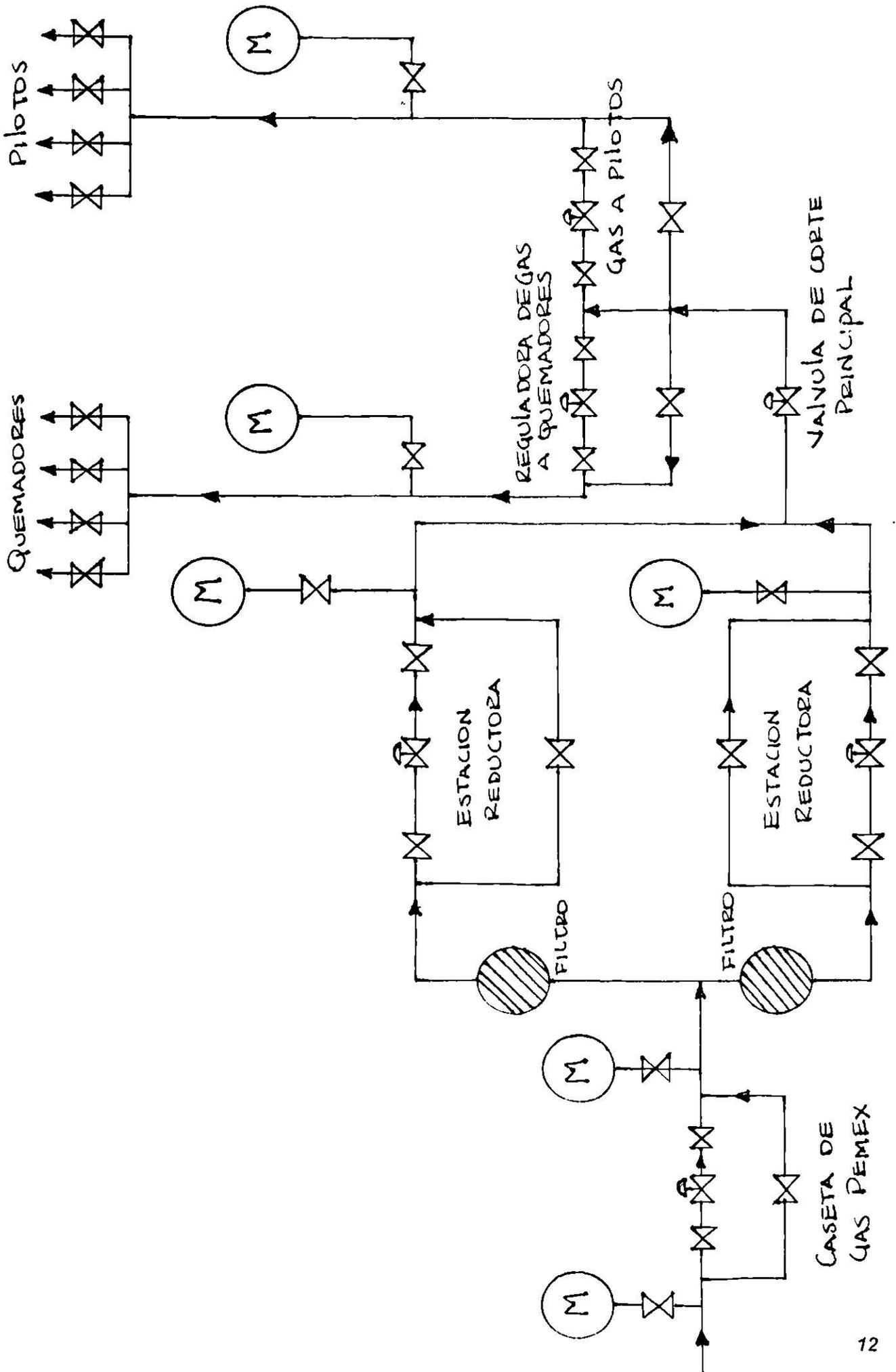
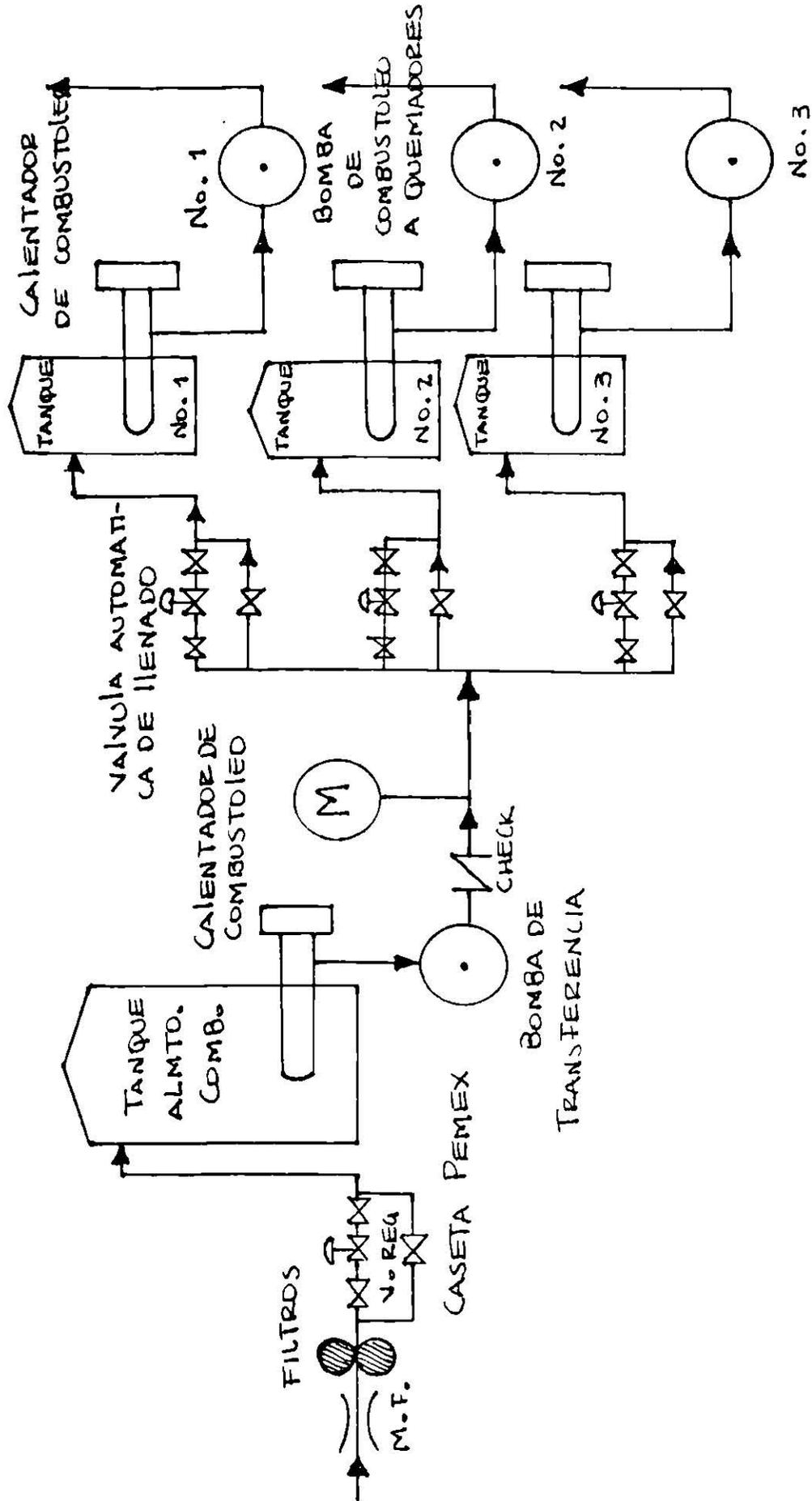


DIAGRAMA No. 4 SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE A LA CENTRAL TERMoeLECTRICA



## **e) SISTEMA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN A CALDERA**

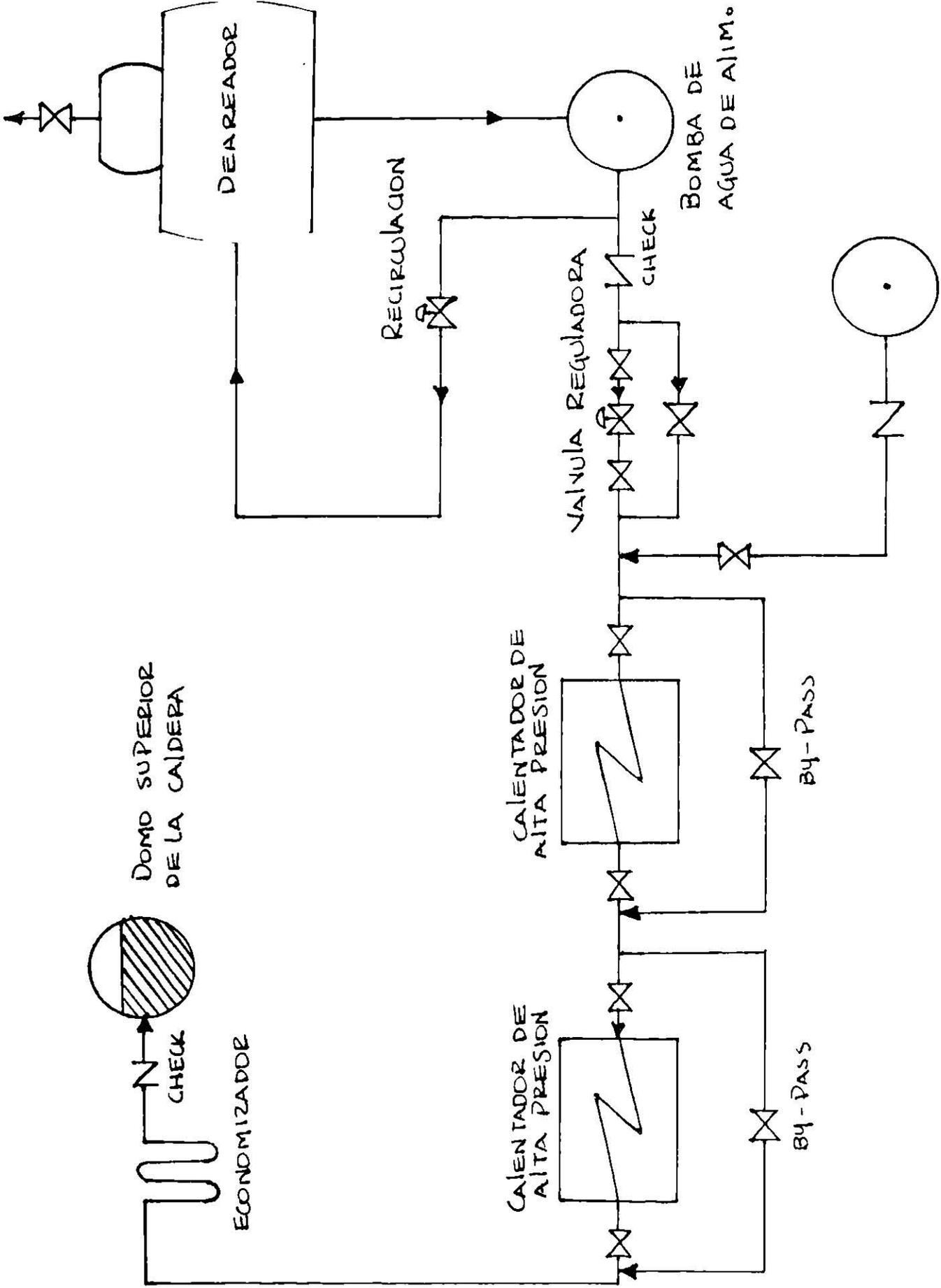
El sistema de agua de alimentación es el encargado de mantener el nivel correcto de operación de agua es la caldera para tal efecto la bomba de agua de alimentación succiona el fluido del dereador el cual es un intercambiador de contacto directo donde el agua es calentada por medio de vapor de la caldera o bien vapor de una extracción de la turbina vapor que ya trabajó en la misma

El dereador cumple con dos funciones sirve como calentador del agua y a la vez expulsa los gases que pueden dañar las turbinas del sistema.

Continuando con el sistema la bomba descarga el agua haciéndolo pasar por una reguladora de flujo de agua de alimentación y por unos calentadores que aprovecha el vapor de las extracciones de la turbina el flujo de agua hacia el domo de las calderas puede ser regulado con la válvula anterior o bien algunas bombas tienen integrado un variador de velocidad lo cual permite variar el flujo de agua.

En el domo superior de la caldera se tiene un indicador de nivel y un (Level-Control) controlador de nivel quien manda la señal a la válvula reguladora para que permita el flujo requerido en el generador de vapor por lo general el sistema cuenta con dos bombas una en operación y la otra en automático para que entre en servicio en caso necesario. En el diagrama siguiente se muestra el sistema de agua utilizado en la mayoría de las centrales termoeléctricas.

DIAGRAMA No. 5 SISTEMA AGUA DE ALIMENTACION



BOMBA DOSIFICADORA  
DE SUSTANCIAS QUIMICAS

## **f) TRATAMIENTO QUÍMICO EN EL AGUA DE LAS CALDERAS O GENERADORES DE VAPOR**

El agua utilizada para la producción de vapor en central termoeléctrica proviene de pozos profundos localizados cerca de la central; y como esta agua trae consigo sólidos en suspensión como son calcio, magnesio, sílice, etc. Es obvio sea pasada por un tratamiento químico antes de entrar a la caldera.

La mayoría de las centrales termoeléctricas cuentan con una planta desmineralizada y una de osmosis inversa que cumplen con la condición de quitarle los sólidos antes mencionados y además darle el grado de acidez o alcalinidad necesaria para proteger los tubos del generador de vapor.

Cuando el agua del ciclo térmico se ha contaminado se le da un tratamiento químico interno que consiste en inyectar sustancias químicas y purgar la caldera hasta obtener los parámetros químicos requeridos.

## **g) SISTEMA AIRE - GASES**

Entre los auxiliares esenciales para la operación del generador de vapor nos encontramos con los equipos destinados al suministro de aire al hogar y la evaluación de los gases de la combustión estos equipos son: ductos, compuertas, ventilador de tiro forzado, ventilador de tiro inducido.

## **CHIMENEA**

La chimenea tiene por objeto descargar los productos de la combustión a una elevación suficiente a fin de evitar en lo posible las molestias inherentes.

## **DUCTOS**

Los ductos son las conexiones entre el tiro forzado hasta el hogar de la caldera y desde la salida de los gases hasta la chimenea los cuales deberán ser herméticos y contar con juntas de expansión que permitan la dilatación del material.

## **VENTILADOR DE TIRO FORZADO**

Es el encargado de suministrar el aire necesario para la combustión.

## **VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO**

Es el ventilador que actúa como extractor de los gases provocando una presión negativa en el hogar.

## **COMPUERTAS**

Las compuertas en la succión y descarga de los ventiladores anteriores son el mecanismo que regula el flujo de aire o gases para que la caldera opere correctamente; estas compuertas son operadas localmente o neumáticamente desde sala de control.

### **h) PROTECCIÓN DE UN GENERADOR DE VAPOR**

Las protecciones de un generador de vapor son mecanismos que ayudan a evitar operaciones riesgosas que ponen en peligro la instalación y todo lo que le rodea.

Las calderas por lo general tienen las siguientes protecciones.

- 1.-Disparo por bajo nivel domo.
- 2.-Disparo por bajo flujo de aire.
- 3.-Disparo por alta presión en el hogar.
- 4.-Disparo por alta presión de combustible.

Todas estas protecciones operan sobre la válvula principal de corte de combustible apagando la caldera, además de las protecciones anteriores el generador de vapor cuenta con válvulas de seguridad instaladas en el domo

superior y de la línea principal de vapor que permiten aliviar la presión de la caldera en caso necesario. Ver diagrama. Nº. 6.

## **i) SISTEMAS AUXILIARES E INSTRUMENTACIÓN DE UN GENERADOR DE VAPOR**

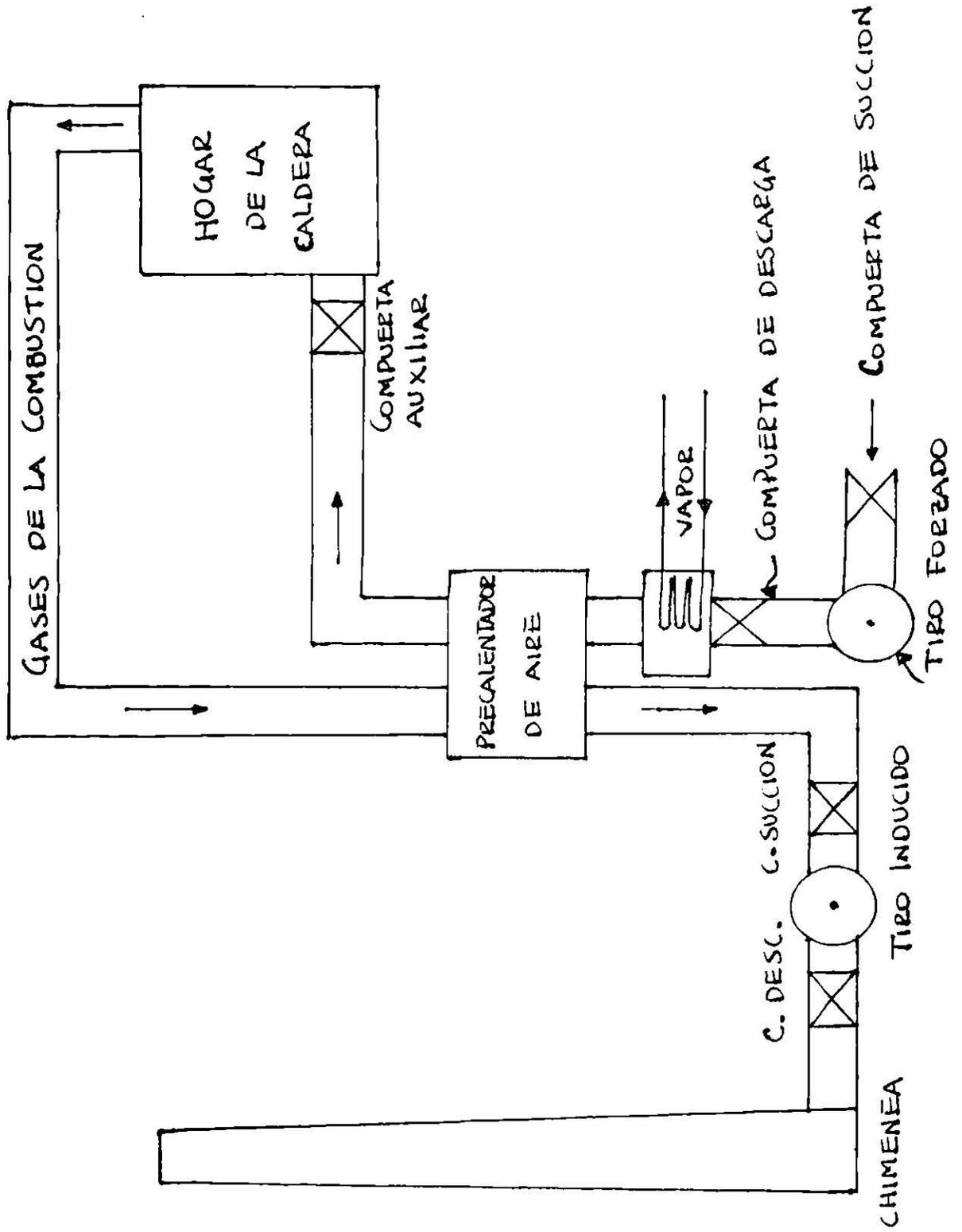
Dentro de los sistemas auxiliares de un generador de vapor se tiene lo siguiente:

Válvulas de purga de fondo que sirven para drenar las calderas cuando se le va a dar mantenimiento o bien en operación cuando existe contaminación el agua aunque el operación es riesgoza ya que se podría quedar sin agua la caldera.

- Válvulas de purga continua: sirven para controlar los parámetros químicos del agua.
- Venteos: los venteos sirven para desalojar el aire del interior de los tubos para evitar corrosión en los mismos.
- Sistema de calentamiento de combustóleo: debido a que el combustóleo se solidifica al estar frío por lo que se calienta por lo general con vapor para que puede ser manejado por una bomba y descargado hasta los quemadores de la caldera.

- Instrumentos de medición, control y protección se encuentran instalados una gran cantidad de manómetros, termómetros, medidores de flujo; controladores de temperatura, controladores de presión que permiten operar eficientemente.

DIAGRAMA No. 6 AIRE Y GASES DEL GENERADOR DE VAPOR



## **V.- TURBINAS DE VAPOR**

### **a) DESCRIPCIÓN DE UNA TURBINA DE VAPOR**

Una turbina de vapor es un mecanismo diseñado con la finalidad de convertir la energía calorífica del vapor de agua en energía cinética y posteriormente en energía mecánica la cual hace girar el generador eléctrico en una central termoeléctrica convirtiéndose así en energía eléctrica. La turbina de vapor trabaja bajo el principio de una tobera.

La clasificación principal son turbinas de acción o impulso y turbinas de reacción. Una turbina de acción es aquella donde el vapor surge una expansión en las toberas fijas o alabes aumentando la velocidad del chorro de vapor golpeando o impulsando éstos a los alabes móviles.

Una turbina de reacción es aquella donde el vapor se expansión en los alabes móviles al pasar por las toberas produciéndose una fuerza de reacción igual y en sentido contrario a la acción del vapor.

Las turbinas utilizadas en centrales termoeléctricas son turbinas de acción y reacción compuestas con condensador con etapas de velocidad y presión.

Las turbinas de gran capacidad están compuestas por una turbina de alta presión donde sufre una expansión retornando por una tubería al recalentador de la caldera donde aumenta su temperatura aprovechando los gases de la combustión y regresando a la turbina de presión intermedia donde nuevamente sufre expansión bajando la presión y temperatura posteriormente a través de un cross o ver el vapor es introducido a la turbina de baja presión sufriendo ahí su última expansión descargando el vapor hacia el condensador principal.

Ver diagrama N°. 7

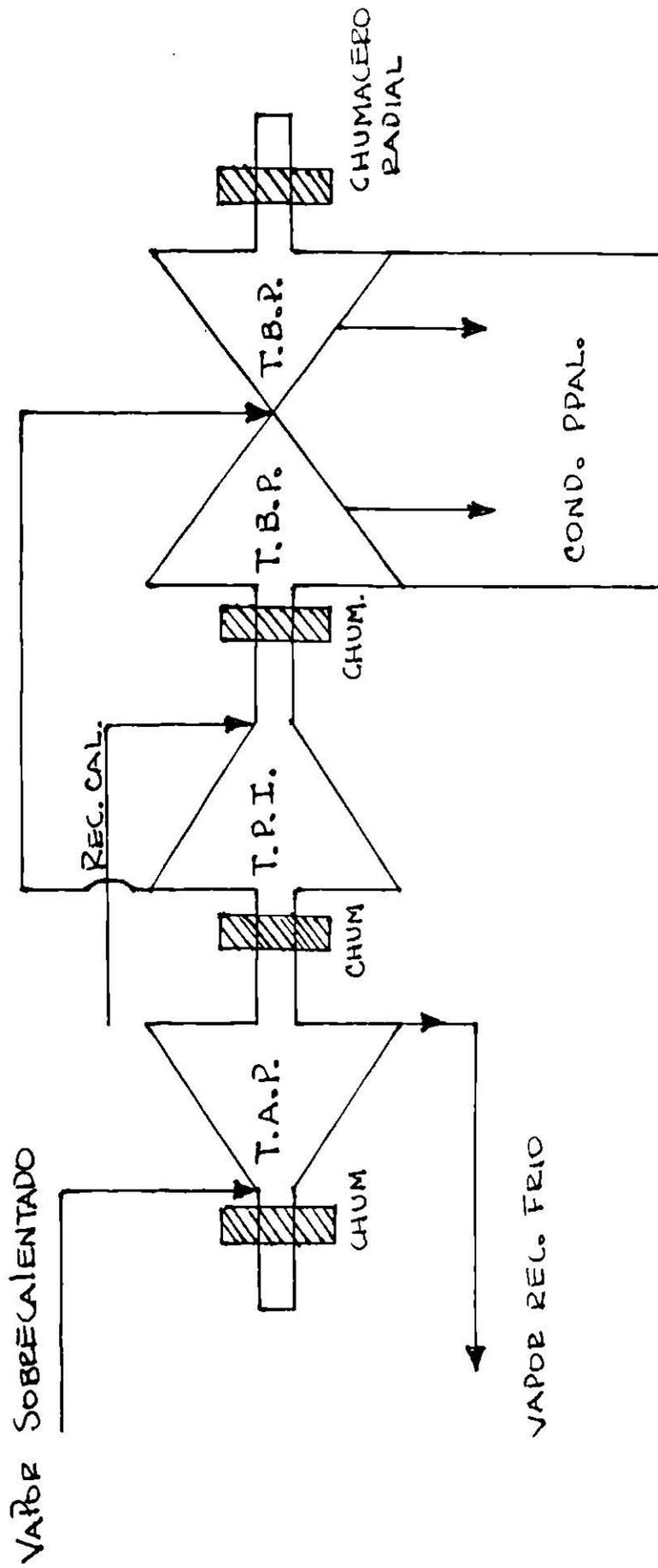
## **b) PARTES PRINCIPALES DE UNA TURBINA DE VAPOR**

Una turbina está compuesta principalmente por una carcaza y un rotor; en la carcaza van alojados los alabes fijos y en el rotor los alabes móviles como la turbina es un elemento giratorio está provisto de una serie de chumaceras radiales de soporte revestidas con material babbit en su interior.

También cuenta con una chumacera de empuje instalada en un extremo de la turbina que sirve para contrarrestar el desplazamiento axial de la misma evitando así que los alabes fijo y móviles rocen. Tiene la turbina un sistema de lubricación de aceite compuesto por unas bombas que permiten mantener siempre lubricadas las chumaceras. Se tiene un sistema de gobierno que controla la velocidad de la turbina por lo general a 3600 r.p.m., cuando el generador de C. A. de 2 polos.

Las turbinas de vapor que tienen condensador es decir el vapor a una presión negativa están provistas de unos sellos de vapor en sus extremos, estos con la finalidad de evitar entradas de aire en el lado de baja presión y fugas de vapor el lado de alta presión.

DIAGRAMA No. 7 VAPOE PRINCIPAL A TURBINA



### **c) SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD DE UNA TURBINA**

La turbina de vapor de una central termoeléctrica su operación consistente en mantener constante la velocidad (a 3600 r.p.m.,) para mantener la frecuencia y voltaje de salida del alternador por tal motivo se requiere de un sistema lográndolo cuando se controla el flujo de vapor hacia la turbina procedente de la caldera.

Se tiene un sistema de gobierno o gobernador que consiste en un sistema hidráulico operado con aceite procedente del sistema de lubricación nada más que a alta presión el cual permite el accionamiento de una válvulas de admisión que permiten la entrada de vapor la cantidad necesaria para mantener la velocidad anteriormente citada.

### **d) SISTEMA DE LUBRICACIÓN**

El sistema de lubricación está compuesto por una bomba auxiliar de corriente alterna y sirve para lubricar el turbogenerador en el arranque o paro del mismo. Cuentan con una bomba principal de aceite accionada por la flecha de la turbina y en esta bomba la que mantiene la lubricación en operación normal es decir cuando la turbina gira y a 3200 r.p.m.,. Aproximadamente la lubricación es por esta bomba y se mantiene en servicio hasta que se dispara la turbina.

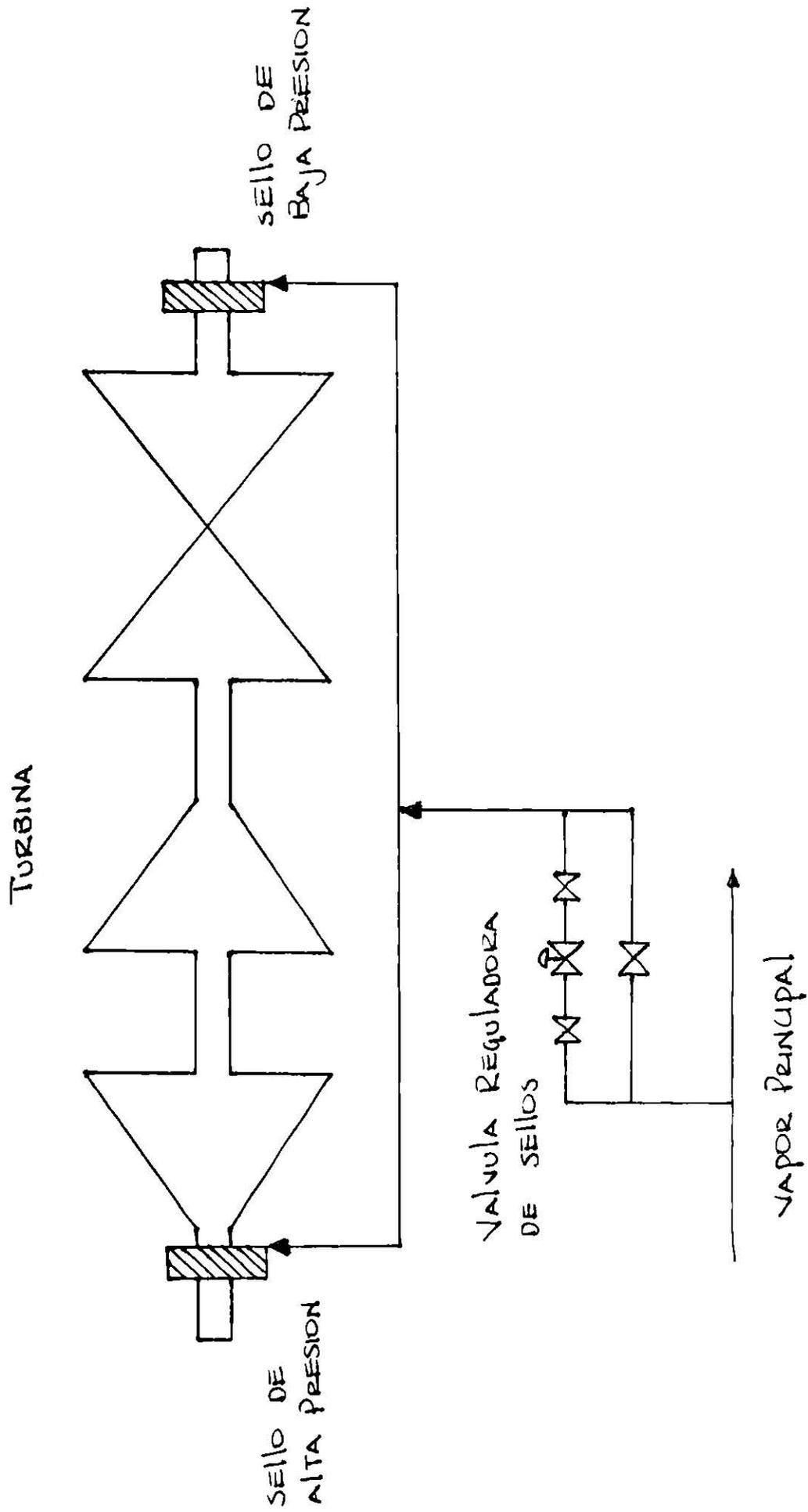
Se tiene una bomba de corriente directa para casos de emergencia en que no se dispone de corriente alterna y que la unidad ha sufrido algún disparo.

Además de estas bombas el sistema de lubricación está compuesto por filtros y enfriadores de aceite que permitan mantener la temperatura en óptimas condiciones.

#### **e) SELLOS DE VAPOR**

Las turbinas que utilizan condensador es decir el vapor que ya trabajó en la misma es descargado a presión negativa y por lo tanto se requiere de unos sellos que no permitan entrada de aire evitando se pierda la presión por medio de una válvula reguladora cabe mencionar que en el extremo de alta presión de la turbina también es sellado para evitar fugas de vapor y logrando con esto hacer más eficiente la turbina. Ver diagrama N°. 8.

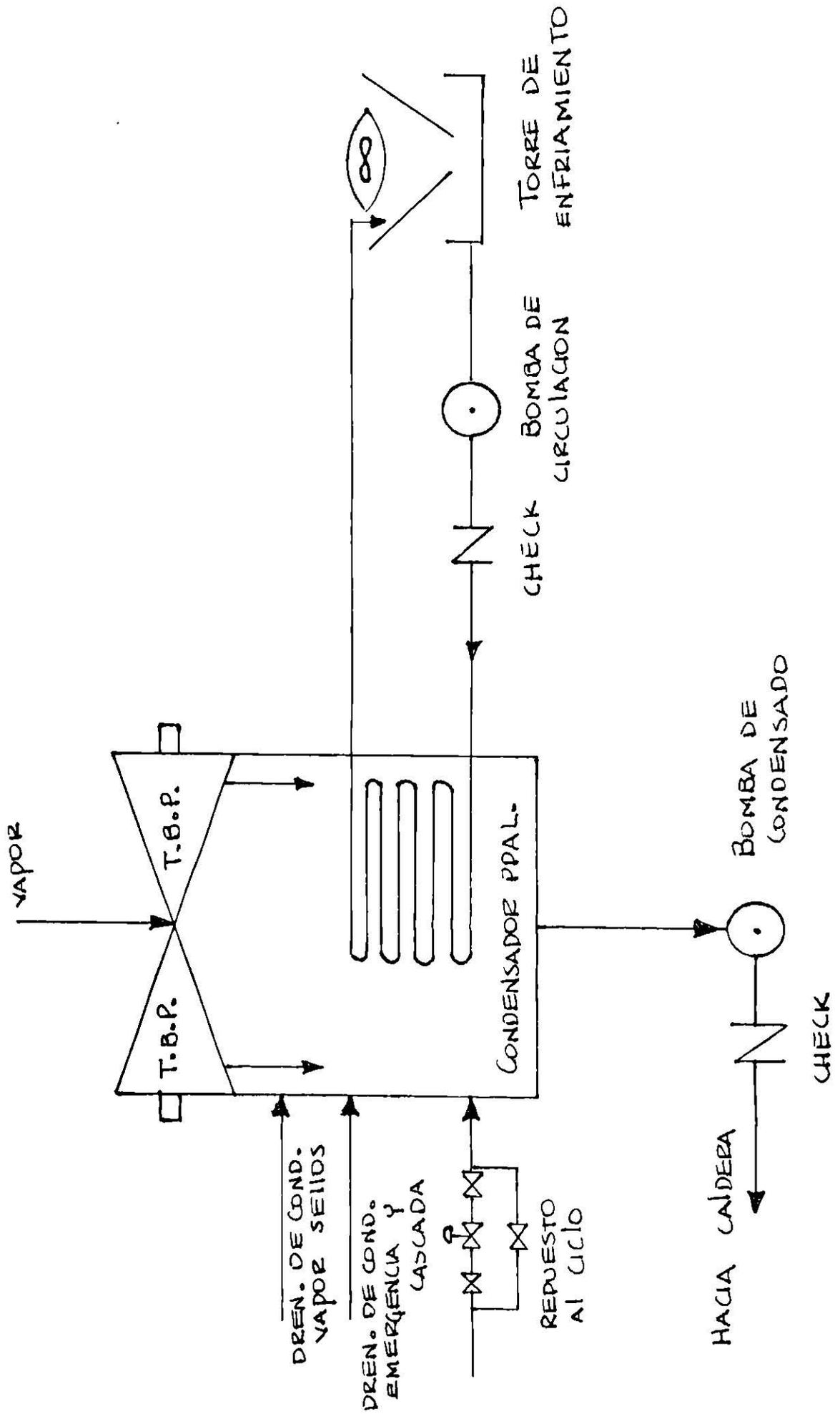
DIAGRAMA No. 8 VAPOR DE SELLOS A LA TURBINA



## **f) CONDENSADOR PRINCIPAL**

El condensador principal es un intercambio de calor de superficie que va instalado en la parte inferior de la turbina de baja presión y sirve para cambiar de fase el vapor que trabajó en la turbina convirtiéndose en agua para que nuevamente sea suministrada a la caldera y continúe con el ciclo agua - vapor para cumplir con dicho funcionamiento es necesario hacer pasar un fluido que es agua procedente de una torre de enfriamiento para por dentro de los tubos del condensador y por fuera descarga el vapor que viene de la turbina, este vapor se condensa y se almacena en la parte inferior del condensador denominada pozo caliente en donde una bomba se encarga de succionar el fluido y descargarlo para continuar con el ciclo. El condensador en operación normal trabaja por el lado vapor con una presión de 700 mmHg de vacío el siguiente diagrama muestra al

DIAGRAMA No. 9 CONDENSADOR PRINCIPAL

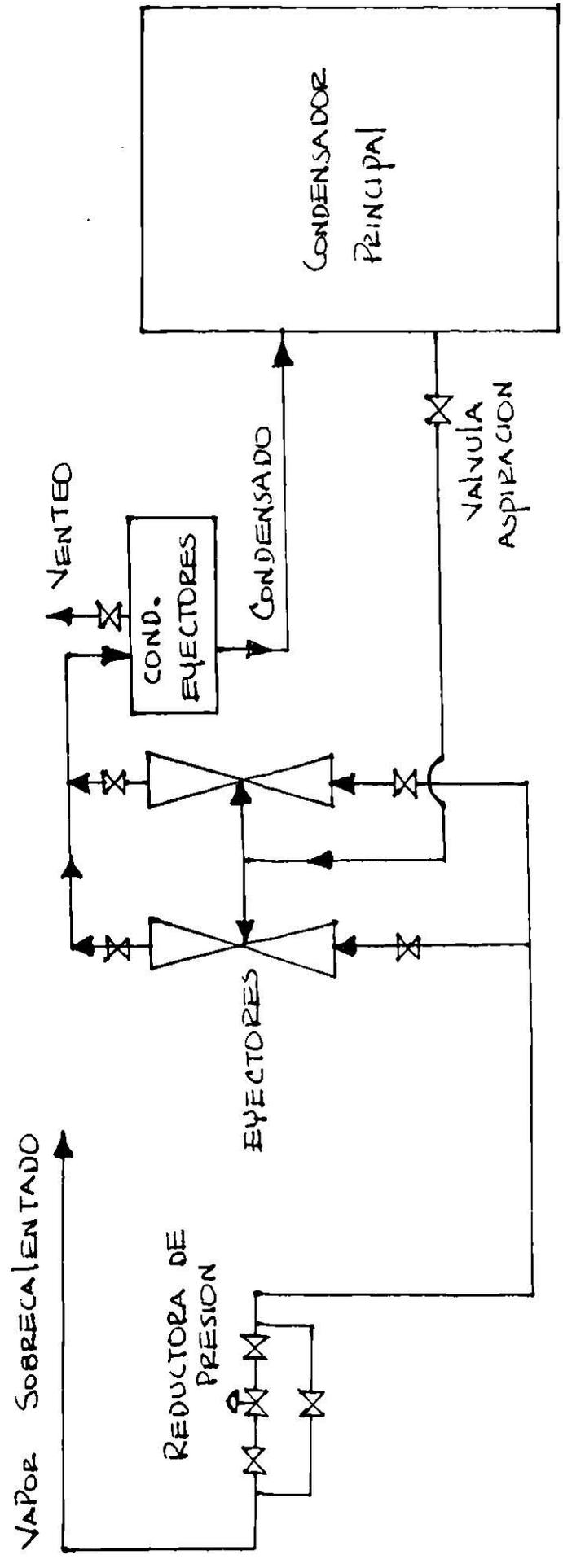


## **g) SISTEMA DE VACÍO DEL CONDENSADOR PRINCIPAL**

Como se dijo anteriormente se requiere mantener un vacío en el condensador este vacío se inicia cuando el vapor cambia de fase ya que en el agua en estado líquido ocupa menor volumen que el vapor por lo tanto se crea un vacío, sin embargo como se maneja una gran cantidad de vapor es necesario un mecanismo que mantenga el vacío anteriormente mencionado. Para tal efecto se tiene unos eyectores de servicio y de arranque que vienen siendo unas toberas por donde se hace pasar vapor suministrado por una línea derivadora de la línea principal al pasar por la tobera del eyector adquiere una gran velocidad arrastrando los gases no condensables a aire del interior del condensador provocando la presión negativa o vacío ver diagrama N° 10.

En el inicio de la operación del tubo generador el vacío se efectúa con un eyector de arranque expulsando los gases no condensables y el vapor utilizado hacia la atmósfera y una vez obtenido el vacío requerido se utiliza un eyector de servicio donde los gases no condensables y el vapor utilizado se hacen pasar por un condensador de eyectores donde se recupera el vapor en forma de agua y retornando al condensador principal.

DIAGRAMA No. 10 SISTEMA DE VACIO EN CONDENSADOR PRINCIPAL



## **h) EXTRACCIÓN DE VAPOR**

A las turbinas de vapor se les practican unos orificios en diferentes etapas de la mismas con la finalidad de desviar vapor que ya trabajó en algunas ruedas de alabas con el objetivo de calentar el agua de alimentación que regresa a la caldera estas desviaciones se llaman extracciones de vapor y van directamente a unos intercambiadores de calor donde pasa el agua hacia el generador de vapor de extracciones se condensa retornando dicho condensado al sistema ya sea al condensador principal o al dereador.

Las extracciones de vapor a la salida de la turbina unas válvulas no retorno que evitan el regreso de vapor o agua a misma que pudieran dañarla.

A continuación se muestra un diagrama típico de las extracciones de vapor de una turbina.

DIAGRAMA No. 11 EXTRACCIONES DE VAPOR

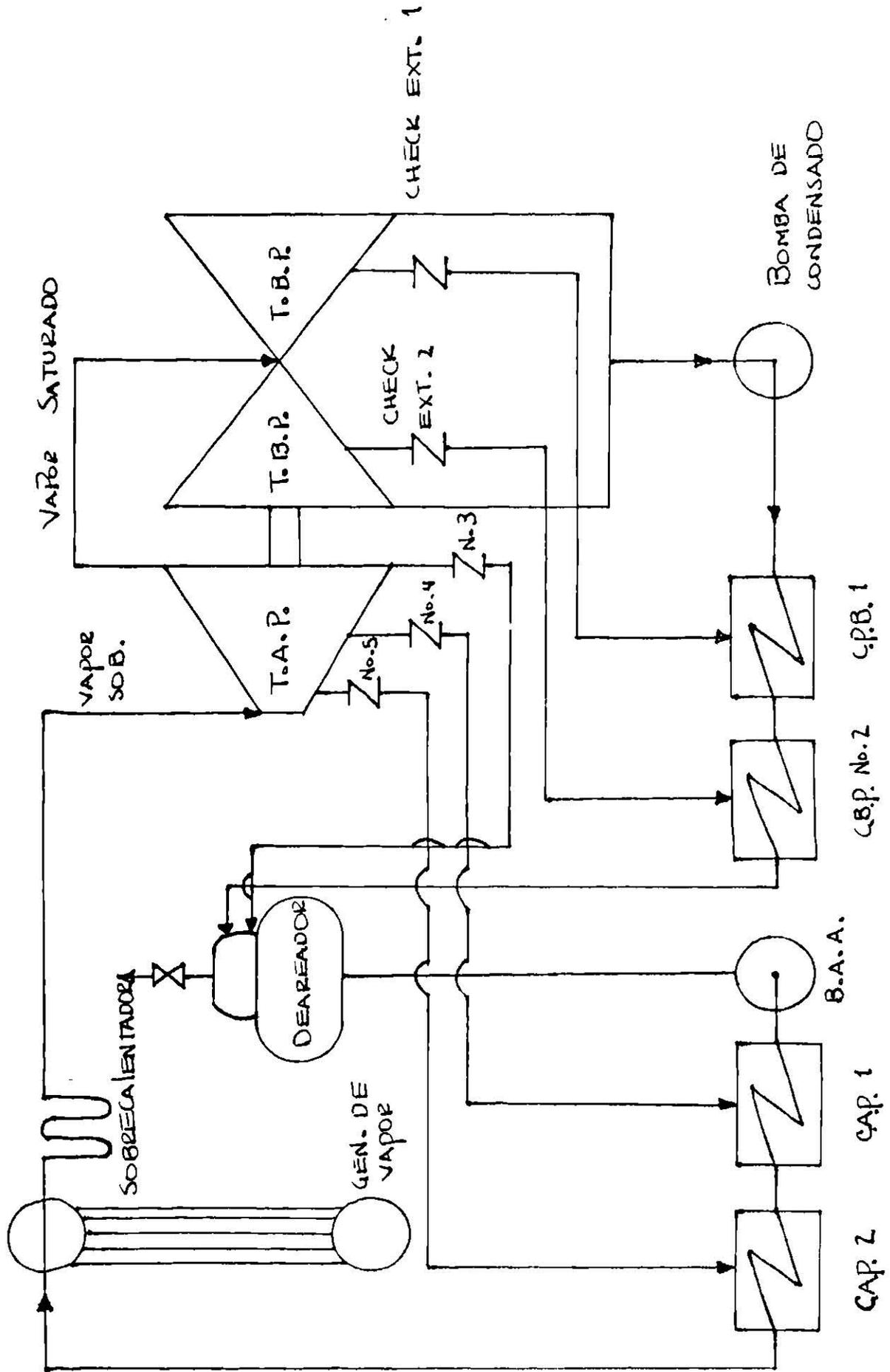
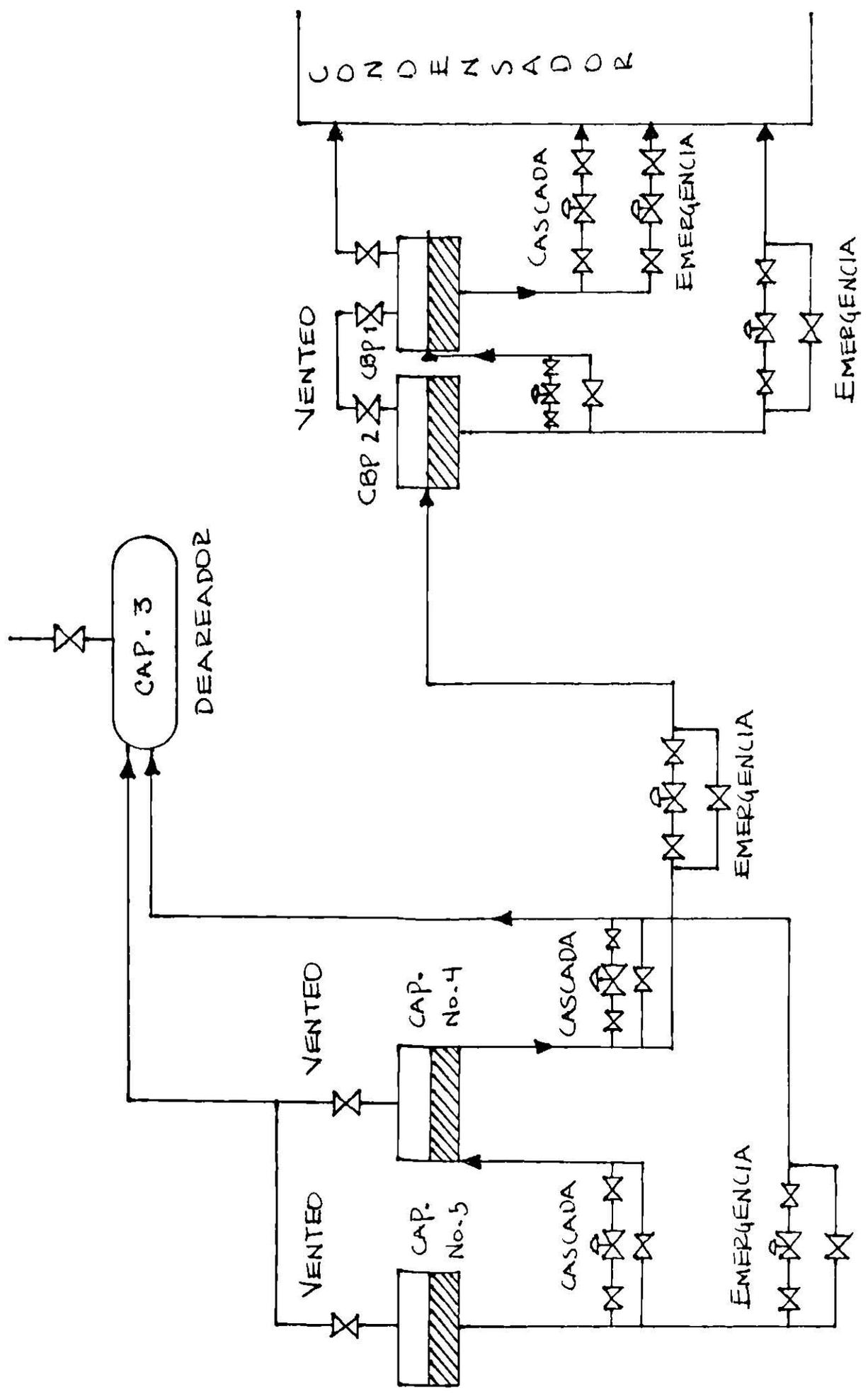


DIAGRAMA No. 12 SISTEMA DE DRENES Y VENTEOS DE LOS CALENTADORES DE AGUA DE ALIMENTACION.



## **VI.- GENERADORES DE CORRIENTE ALTERNA**

### **a) DESCRIPCIÓN DE UN GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA (ALTERNADOR)**

Un alternador es un mecanismo diseñado para generar un flujo de electrones a un voltaje nominal.

Un generador de C. A., está compuesto principalmente por un rotor y un estator su funcionamiento es bajo el principio de electromagnetismo; el rotor es alimentado de corriente directa a través de unos anillos colectores formándose un electroimán creando un campo magnético atravesado por las bobinas del estator creando una fuerza electromotriz.

Los generadores de corriente alterna utilizados en centrales termoeléctricas generan 13800 ó 2000 volts y posteriormente este voltaje es elevado por medio de un transformador principal de potencia la corriente directa es proporcionada por un generador llamado excitador acoplado a la flecha del turbogenerador o bien por un excitador estático que consisten en un grupo de rectificador alimentados por un transformador de excitación C. A.

Al igual que la turbina lleva dos chumaceras una en cada extremo y su lubricación depende del sistema anteriormente descrito.

Al estator de los generadores de corriente alterna sufren un calentamiento al paso de electrones por tal motivo es necesario remover dicho calor, los primeros generadores se enfriaban con aire y últimamente se enfrían con hidrógeno por ser este 7 veces más conductor térmico que el aire; el problema que se tiene es que al hidrógeno su operaciones delicada por lo que se tiene sistemas de sellado para evitar mezclas de aire - hidrógeno.

## **b) SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE UN GENERADOR DE C. A.**

Como se dijo anteriormente los primeros generadores se enfriaban por aire posteriormente cuando fue aumentando la capacidad de los mismos se empezó a utilizar el hidrógeno como medio de enfriamiento.

El hidrógeno se suministra a la planta por medio de cilindros con una presión aproximadamente de 120 kg/cm<sup>2</sup>, dicho cilindro es conectado por medio de un cabezal haciéndose pasar por una estación reductora obteniendo la presión requerida (de 2 a 3 kg/cm<sup>2</sup>) en el interior del generador.

En un inicio cuando se va poner en servicio el generador como el interior del mismo está con volumen determinado de aire es necesario barrerlo con CO<sub>2</sub> y posteriormente suministrarle el hidrógeno para evitar que se mezcle con aire ya que

una mezcla de 25% de aire con 75% h<sub>2</sub> se vuelve explosiva para tal efecto se con equipo de medición de pureza de hidrógeno.

El hidrógeno se calienta y por ello es necesario enfriarlo utilizándose unos intercambiadores de calor donde se hace pasa agua procedente de una torre de enfriamiento.

### **c) SISTEMA DE ACEITE DE SELLOS**

Para evitar fugas de hidrógeno o entradas de aire a la parte interior del generador de C. A., se utiliza un sistema de sellado por medio de aceite derivado del sistema de sellado por medio de aceite derivado del sistema de lubricación del turbogenerador dicho sistema está compuesto de dos bombas una de C. D., y otro de C. A., una válvula reguladora y filtros manteniendo una presión diferencial entre el aceite de sellos y el hidrógeno de 0.45 km/cm<sup>2</sup>.

### **d) SISTEMA DE EXCITACIÓN DEL GENERADOR DE C. A.**

Este sistema se encarga de suministrarle corriente directa al generador para formar el electroimán y crear el campo magnético.

Algunos turbogeneradores llevan en su extremo acoplado un generador de corriente directa o excitante, otros tienen un sistema de excitación estática es decir

por medio de un transformador de excitación se alimenta de C. A., a unos rectificadores y la salida de estos alimenta de C. D., los anillos colectores del alternador.

## **VII.- SUMINISTRO DE AGUA A LA CENTRAL**

El agua es uno de los elementos más importantes para producción de vapor y electricidad por esta razón debe tenerse cuidado en el diseño de la central su construcción arranque y operación. Los usos más importantes del agua en una planta incluye enfriamiento al condensador, repuesto al generador de vapor, enfriamiento a chumaceras, sistema de contra incendio, enfriamiento de aceite, hidrógeno o aire del generador, etc.

### **Procedencia del agua**

Dependiendo de la localización de la planta y los suministros disponibles el agua procede de pozos profundos, agua de ríos lagos o del mar.

Por lo general el agua suministra a las calderas procede de pozos profundos y en las grandes ciudades se utilizan para el enfriamiento de los equipos las aguas negras tratadas procedente de la descarga de industrias, talleres, hogares y hospitales, dicha agua se le quita los sólidos en concentración y se les normaliza su acidez o alcalinidad se almacena en unos tanques de gran capacidad para de ahí suministrar el repuesto a torres de enfriamiento.

El agua que se utiliza en las calderas que viene de pozos profundos en pasada a través de un equipo de osmosis inversas donde se le disminuye los sólidos en concentración como son calcio, magnesio, sílice y otros después pasa a una

planta desmineralizadora compuesta por una unidad anionica, unidad cationica que permiten mantener el P. H. (grado de acidez y alcalinidad) que se permita mantener en condiciones óptimas las tuberías de todo el sistema.

Una vez que el agua ha sido tratada se almacena en los tanque de agua tratada de donde se alimenta los tanques de agua repuesto al ciclo. Ver diagramas 13, 14 y 15.

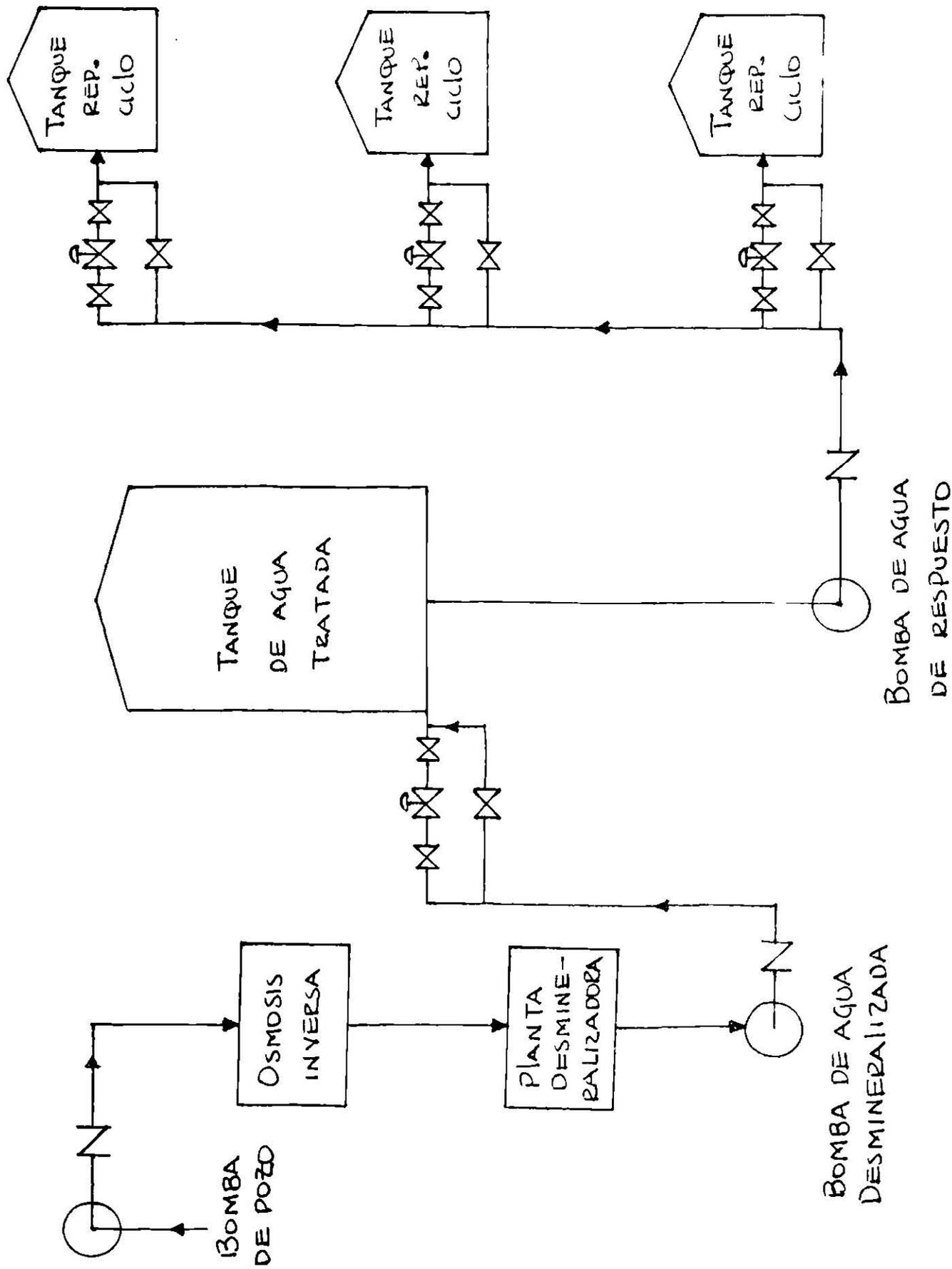


DIAGRAMA No. 14 SISTEMA DE AGUA NEGRA TRATADA

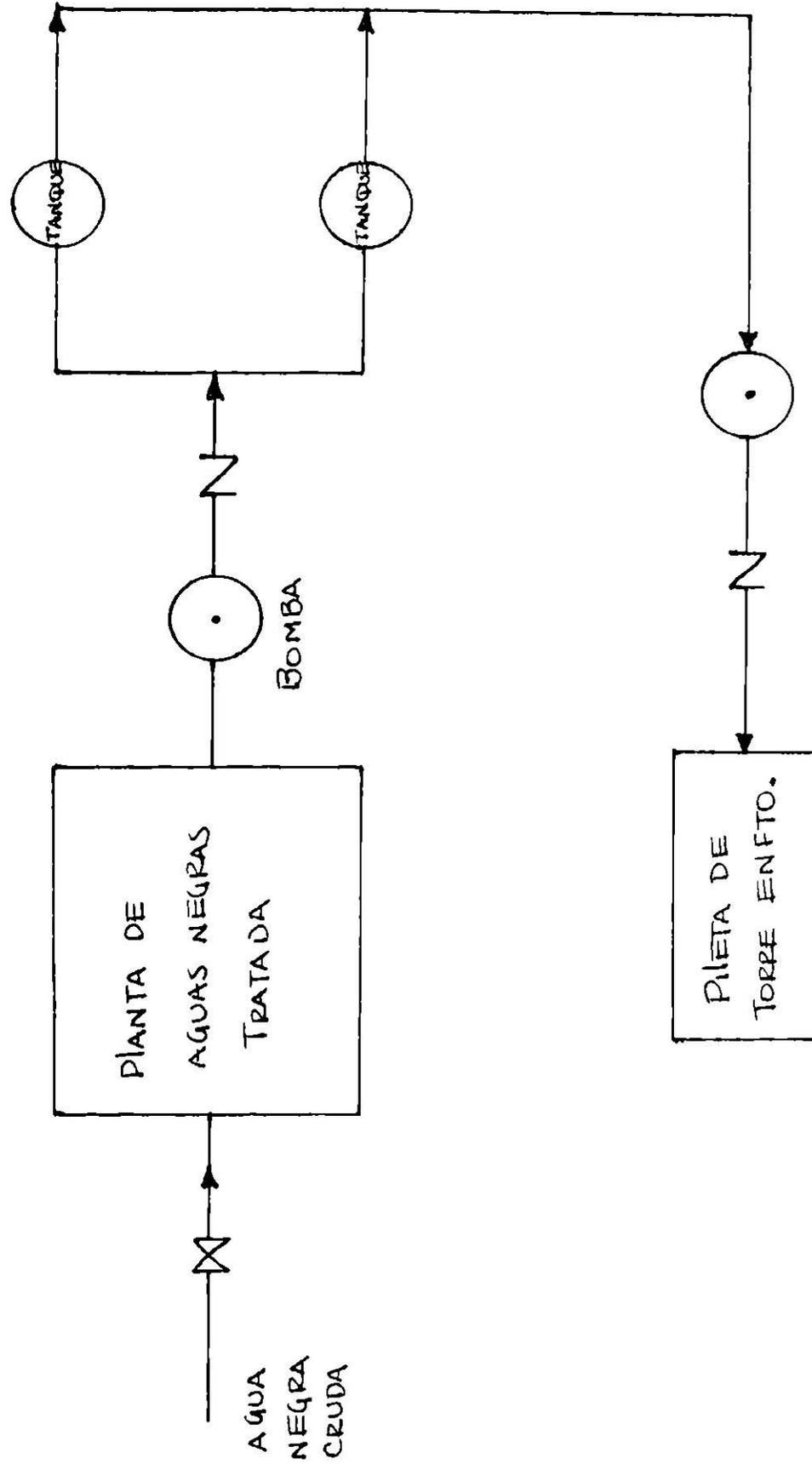
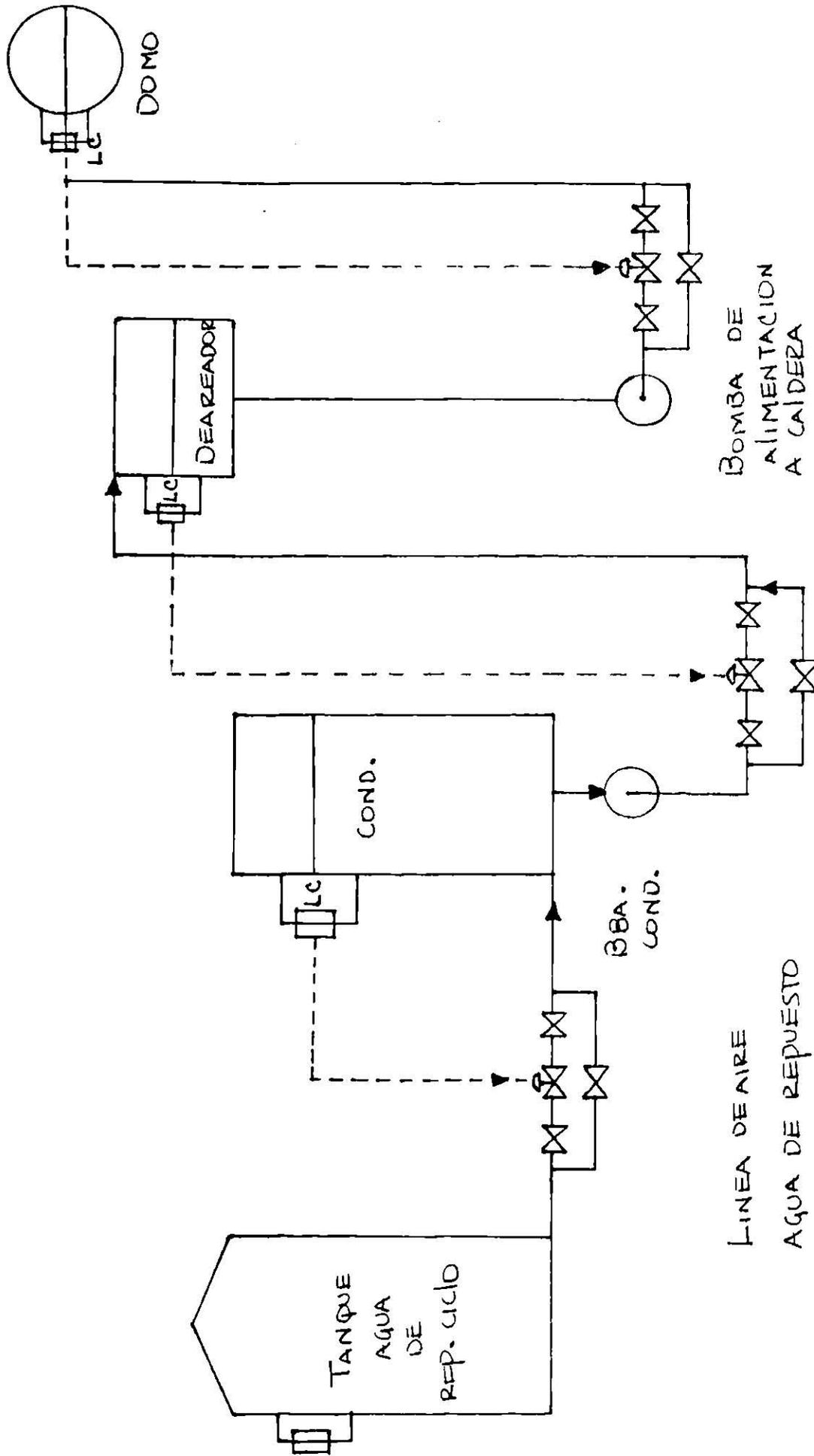


DIAGRAMA NO. 15 AGUA DE REPUESTO AL CICLO



## **VIII.- SISTEMA DE COMBUSTIBLE CARBÓN**

Actualmente Comisión Federal de Electricidad tiene instaladas dos centrales termoeléctricas a base de carbón cuyo procedimiento es el siguiente:

El carbón utilizado es no coquizable que proviene de unas minas subterráneas cercanas a la Cd., de Piedras Negras, Coahuila. El carbón es transportado por medio de bandas desde la mina hasta la central donde se tiene una torre de recepción y a partir de ahí por medio de otras bandas transportadoras se lleva a unos molinos trituradores donde se fraccionan los pedazos de carbón pasando de ahí a unos silos de donde se suministra el carbón por medio de unos alimentadores gravimétricos a los pulverizadores que convierten el carbón en polvo fino el cual es arrastrado por el aire hacia el centro de la caldera.

Cabe mencionar que el carbón utilizadas en estas instalaciones contiene un 50% de carbón y un porcentaje 40% de ceniza lo que hace la operación más complicadas por los problemas ocasionados por la ceniza.

La ceniza es transportada a unos patios de almacenamiento (300 has) donde es compactada.

Existen dos clases de ceniza la pesada que cae por su peso al fondo de la caldera y la volante que se va con los gases de la combustión por tal motivo se tiene

instalado un filtro electrostático en la descarga de los gases y con ello reteniendo gran cantidad de ceniza que de lo contrario provocaría erosión en el ventilador de tiro inducido y contaminación ambiental al salir por la chimenea.

## **IX.- SISTEMA DE CONDENSADO**

El sistema de condensado se inicia en el pozo caliente del condensador principal donde se instala la succión de la bomba de condensador la cual descarga al agua a través de sellos y condensador de eyectores posteriormente pasa por los calentadores de agua de alimentación donde el agua es calentada por medio de vapor de las extracciones de la turbina primero pasa por los calentadores de baja presión hasta llegar al dereador; a partir del dereador se inicia el sistema de agua de alimentación antes descrito. Ver diagrama N°. 16.

DIAGRAMA No. 16 SISTEMA DE CONDENSADO

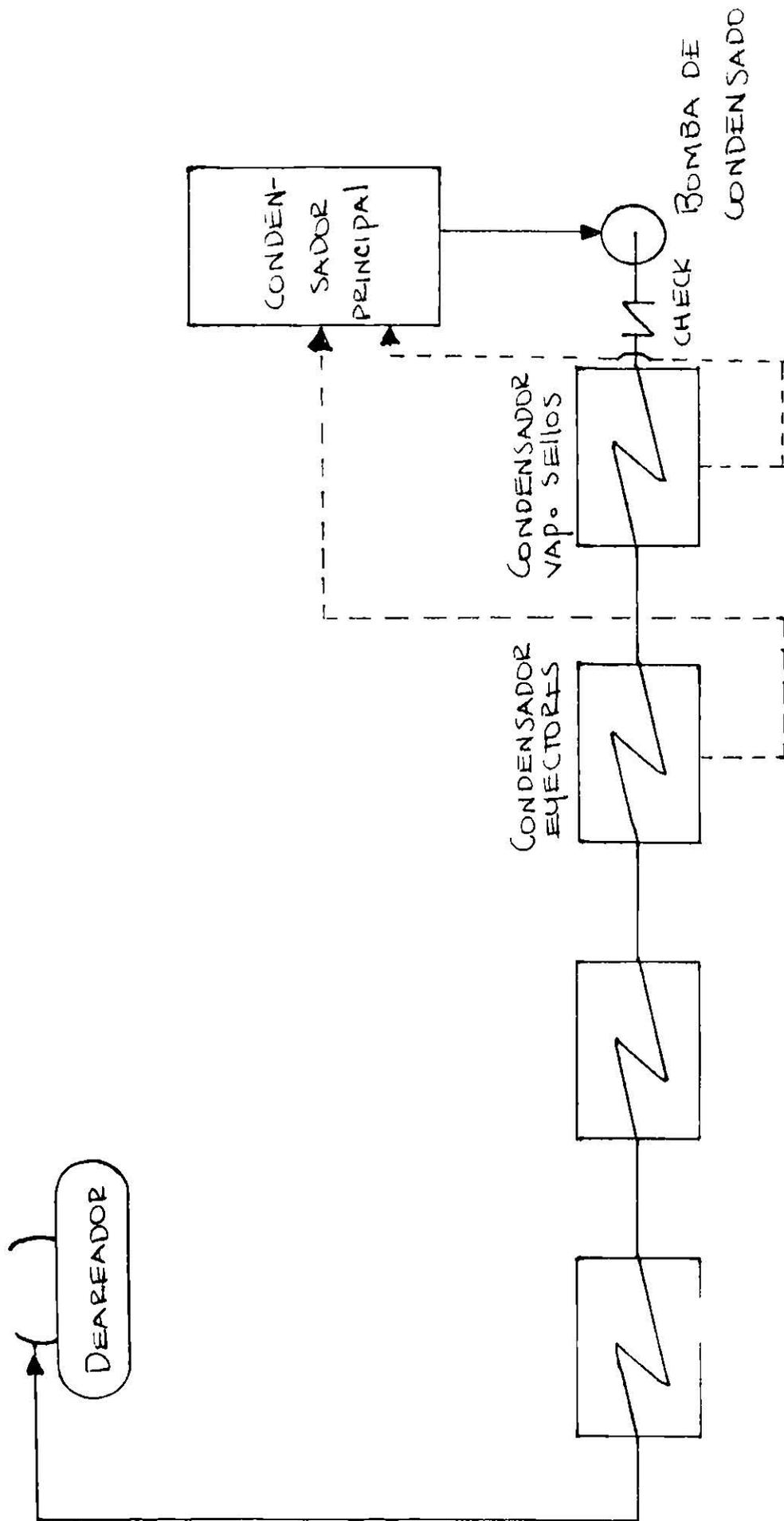
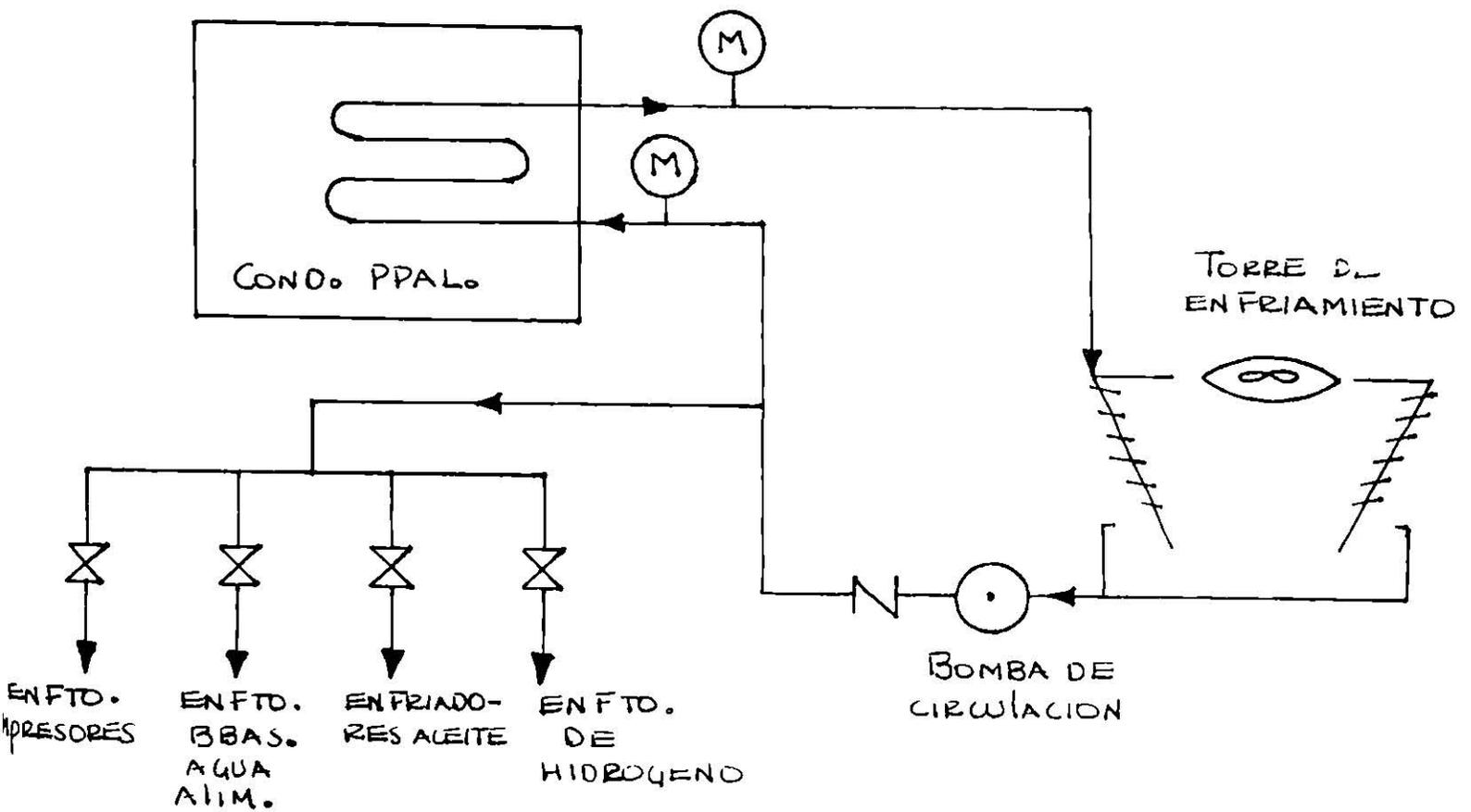


DIAGRAMA No. 17 SISTEMA AGUA DE CIRCULACION

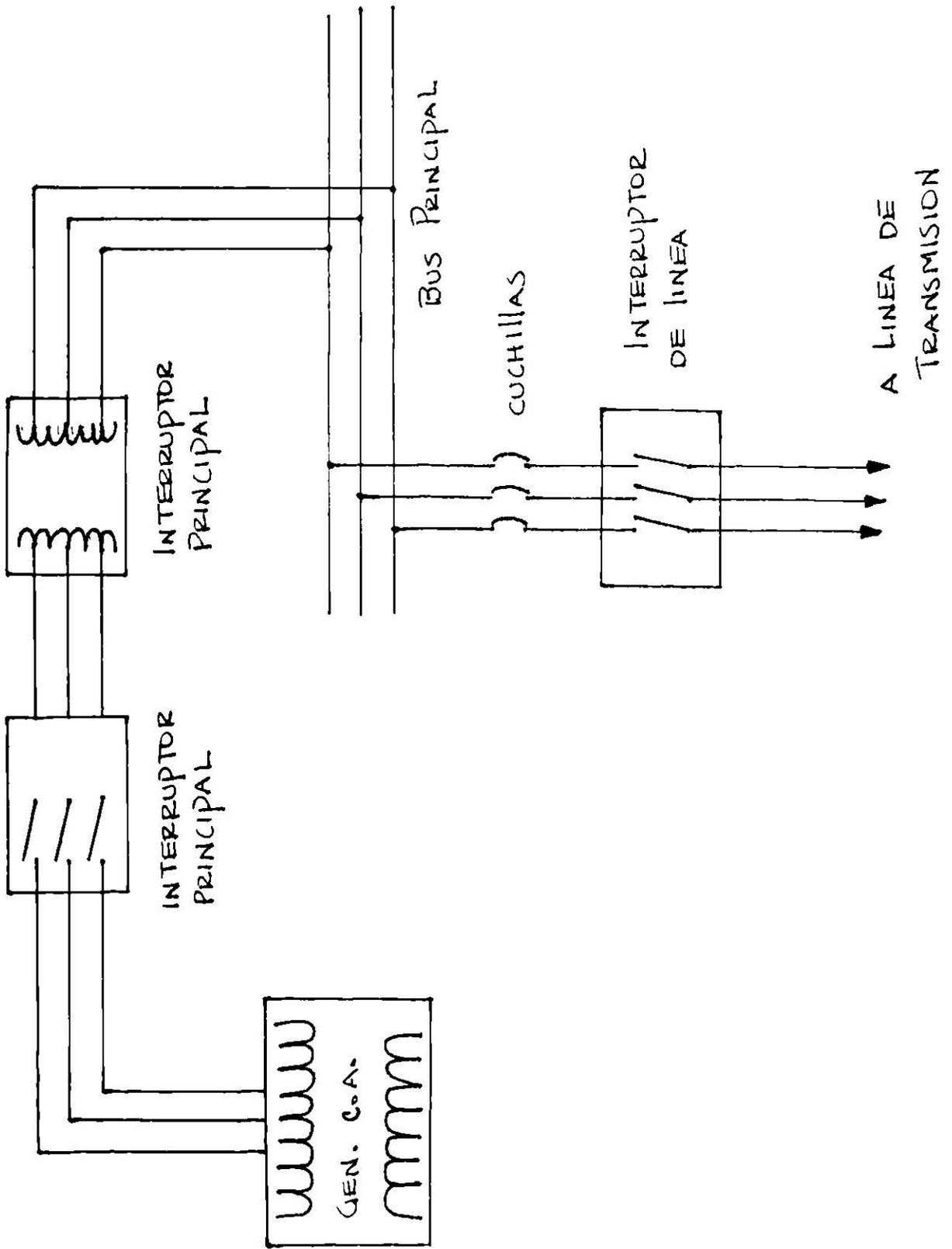


## **X.- SUBESTACIÓN ELÉCTRICA**

La subestación es un conjunto de dispositivos eléctricos que se encargan de recibir la electricidad generada aumentar su voltaje o reducirlo, así como dispositivos que interrumpen la energía en caso necesario como son interruptores cuchillos, relevadores de protección etc., distribuirla a través de unas barras colectoras o (bujes) y conectarla con las líneas de transmisión que serán las encargadas de llevar la electricidad hasta los centros de consumo.

Ver diagrama N°. 18.

DIAGRAMA No. 18 SUBESTACION ELECTRICA



## **XI.- PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE**

Para poner en servicio la unidad se requiere efectuar las siguientes maniobras.

1.- Verificar que no existan libranzas que impidan la propuesta en servicio del equipo.

2.- Comprobar existe un nivel correcto de agua en el tanque de repuesto al ciclo.

3.- Subir el nivel correcto de operación del condensador principal (+30 cm.).

4.- Verificar voltaje correcto en banco de baterías y el generador de emergencia esté en condiciones de ponerlo en servicio.

5.- Comprobar existencia de corriente de control para los diferentes equipos de protección de la unidad.

6.- Comprobar energizada la subestación eléctrica para tener energía para los equipos auxiliares.

7.- Energizar los centros de carga de 4200 V y 480 volts.

8.- Energizar transformador de torres de enfriamiento y verificar nivel de aceite del transformador.

9.- Normalizar sistema de aguas negras comprobando disponibilidad de la pileta de la torre de enfriamiento y llenarla a su nivel de operación poniendo en servicio las bombas de repuesto a la T., enfriamiento una vez que se comprobó nivel en los tanque de agua negra tratada.

10.- Poner en servicio el sistema de agua de servicios una vez verificado el nivel del tanque de agua cruda.

**Nota:** con la puesta en servicio de este sistema se mantendrá presurizada la red de agua que sirve para enfriamiento de algunos equipos como compresores, bombas de alimentación a calderas y usos generales.

11.- Preparar y dejar disponible el sistema de agua de contra incendio.

**Nota:** este sistema es una derivación del agua contenida en el tanque de agua cruda de donde succionan las bombas de contra incendio las cuales mantendrán presurizado el sistema para ser utilizado en caso de un siniestro.

12.- Preparar el sistema de aire de servicios.

13.- Preparar el sistema de aire de instrumentos.

14.- Normalizar el sistema de agua de circulación consistente en poner en servicio la bomba de agua de circulación encargada de succionar el agua de la pileta de la torre de enfriamiento y descarga a través del condensador principal y tuberías de agua de enfriamiento.

Verificar las rejillas del cárcamo de succión y comprobar apertura o cierre de las válvulas comprendidas en el sistema debiendo verificar el enfriamiento, sellos y lubricación de la bomba así como ruidos anormales de la misma al estar en operación.

15.- Poner en servicio el sistema taprogge del condensador principal consistente en un sistema de válvulas, capacitor y esferas limpiadoras.

16.- Normalizar el sistema de enfriamiento derivado del sistema de agua de circulación a los enfriadores de aceite de lubricación, de turbogeneradores de bombas de alimentación, enfriadores de hidrógeno del generador de C. A., enfriadores de aceite de sellos del generador.

17.- Poner en servicio los enfriadores de hidrógeno, de aceite de sellos del lubricación de la turbina.

18.- Poner en servicio el sistema de lubricación de la turbina que consiste en:

Revisar el nivel del tanque principal de aceite, revisar todas las bombas del sistema de lubricación y poner en servicio la auxiliar de C. A., verificar comportamiento correcto del sistema.

19.- Poner en servicio el motor del tornaflecha.

**Nota:** el motor del tornaflecha es un mecanismo compuesto por un motor y engrane acoplado a la flecha del turbogenerador que sirve para girar la turbina a

una velocidad entre 2 a 3 r.p.m., con la finalidad de revisar sino hay ninguna anomalía para poder rodar la misma.

20.- Normalizar el sistema de condensado que consiste en: checar nivel correcto del condensador principal, verificar cerrada la válvula de drenaje del mismo tener suficiente agua de repuesto al ciclo, verificar correcta la posición de las válvulas de la válvula de control de repuesto al ciclo, desbloquear los calentadores de baja presión, la bomba de condensado y ponerla en servicio para iniciar el llenado del dereador. Deberá abrirse los venteos de los calentadores de baja presión para expulsar el aire y luego cerrarlos para que quede normal; revisar el sistema que no existan anomalías.

21.- Llenando con agua del generador de vapor una vez revisado el generador de vapor habiendo comprobado cerradas las purgas del mismo y abiertos sus venteos verificando el nivel visual en buenas condiciones de operación, se procede a suministrar agua procedente del tanque de oscilación del dereador por medio de una de las bombas de agua de alimentación.

Verificar abierta la válvula de entrada al economizador, abrir las válvulas de entrada y salida de los calentadores de agua de alimentación así como sus venteos abrirlos y cerrarlos una vez expulsado el aire.

Verificar abierta la succión de la bomba de agua de alimentación y la descarga estrangulada. Verificar desbloqueada la recirculación de la bomba.

Revisar el interruptor principal de la bomba que se va a poner en servicio deberá estar en posición dentro.

Poner en servicio la bomba una vez revisado sus sellos, lubricación y enfriamiento, revisar no existan ruidos anormales, alta vibración o calentamiento excesivo en la bomba y por último estar al cuidado del nivel normal de operación de la caldera.

#### 22.- Normalizar el sistema de aire - gases del generador de vapor.

Consiste en: inspeccionar el interior de la caldera verificando que todos sus elementos se encuentren listos para la operación libres de materiales extraños; revisar todos los registros hombre cerrados y que no hay personal trabajando en su interior; revisar todos los servomecanismos de las compuertas tengan disponibilidad de aire para su operación, revisar los precalentadores de aire comprobando su nivel de aceite de lubricación y ponerlos en servicio revisando no existen anomalías. Deberá comprobarse su automatismo ya que este puede operarse por medio de motor o turbina neumática. Revisar el ventilador de tiro forzado e inducido sus compuertas de succión y descarga así como los interruptores de los motores deberán estar en posición dentro poniendo en servicio el ventilador de tiro inducido y posteriormente el tiro forzado, revisando su operación externa de vibraciones, ruidos anormales y calentamiento.

23.- Normalizar el sistema de combustible el encendido del generador de vapor normalmente se efectúa con gas natural o diesel por lo que deberá verificarse

suficiente combustible; comprobar cerradas todas las válvulas de pilotos y quemadores y abiertas todas las válvulas que comunican el combustible hasta la válvula principal de corte y V., reguladora las cuales deberán estar cerradas.

24.- Encendido del generador de vapor. Antes de encender el generador de vapor deberá efectuarse el barrido de gases el cual consiste en tener en servicio el ventilador de tiro formalizado con un 40% de flujo de aire durante 5 minutos para desalojar gases inquemados. Abrir válvula de corte a pilotos y por medio de una solenoide suministrar gas al piloto en el preciso momento que un transformador hace llegar un alto voltaje a la bujía provocando la ignición encendiendo el piloto.

Existen un piloto por cada quemador es importante mantener la caldera encendida con pilotos alrededor de dos horas para uniformizar temperatura; deberá verificarse las temperaturas en los diferentes elementos de la caldera así como el nivel de la misma y cualquier anomalía que se presente deberá ser corregida de inmediato. Una vez uniforme la temperatura en la caldera se enciende un quemador observando que de inmediato se incrementa la presión y temperatura en la caldera, al tener 2 kg./100 cm<sup>2</sup> de presión en el vapor se cierran los venteos del domo y línea principal; deberá efectuarse una rotación en los quemadores para uniformizar temperatura, siempre estar vigilando el nivel del domo y levantar la presión y temperatura del vapor de acuerdo a una curva proporcionada por el fabricante.

25.- Una vez presurizada la caldera y desde que se inicio el encendido las purgas de los sobrecalentadores deberán permanecer abiertas para protección de los mismos y se cerrarán las purgas al sincronizar la unidad.

26.- Antes de iniciar el rodado de la turbina deberá probarse el automatismo de las bombas de lubricación de aceite y efectuar vacío en el condensador principal.

27.- El efectuar vacío en el condensador consiste en lo siguiente: una vez sellada con valor la turbina; se hace pasar vapor procedente de la línea principal a través de los eyectores de servicio y de arranque al inicio sólo por este último y regulado a presión de 18 a 24 kg./cm<sup>2</sup> por medio de una válvula reductora de presión; al pasar por una tobera en el eyector adquiere gran velocidad arrastrando los gases no condensables del condensador provocándose un vacío de 600 mmHg aproximadamente.

28.- Rodado del turbogenerador, una vez que el turbogenerador está rodando con el tornaflecha la caldera tiene la presión y temperatura requerida para suministrar vapor a la turbina; se restablece la turbina con una solenoide desde la sala de control (BTG) abriendo válvula de corte. Se procede a efectuar calentamiento de casa de válvulas teniendo drenes de la turbina abierta; verificar todo el equipo supervisorio disponible se prueban la operación de las protecciones y se comprueba el gobernador principal en su posición mínima.

Se inicia rodado abriendo las válvulas de gobierno y girando la turbina durante 1/2 hora en 500 r.p.m., Si es arranque en frío y llevarla a la velocidad de sincronismo (3600 r.p.m.,) según curva de rodado proporcionada por el fabricante. Durante todo el tiempo anterior de rodado se mantiene en servicio la bomba auxiliar de C. A., y llegando a las 3200 r.p.m., queda la lubricación por medio de la bomba

principal acoplada a la turbina. Una vez llegando a 3600 r.p.m., se revisa todo el equipo para ver sino hay anomalías y poder sincronizar la unidad al sistema se cierran drenes de la turbina, se puede cerrar dren del sobrecalentador.

29.- Efectuar excitación del alternador. Cerrar el interruptor de campo del excitador y por medio del regulador de campo excitar el generador hasta alcanzar el voltaje de salida 13.8 ó 20 kv.

30.- Sincronizar el generador de C. A., conectar mensula de sincronización para entrar al sistema; igualar voltajes del generador con el sistema. Ajustar condiciones de operación de la caldera para soportar el incremento de flujo de vapor sin abatir la presión y temperatura del vapor. El sentido del sincronizador hacia fast y al pasar por 11 y 12 cerrar interruptor principal del generador avisando al centro nacional de control de energía antes de sincronizar ya que al cerrar el interruptor paz. La energía generada queda conectada al sistema nacional.

**Nota.-** si la operación normal es con combustóleo o carbón pasar a normalizar el sistema. Incrementar carga de acuerdo a la demanda.

31.- Poner en servicio las extracciones de vapor.

32.- Se efectúa cambio de auxiliares a los ismas. Esto significa energizar los equipos con energía generada por la unidad.

## **XII.- PARO DE UNIDAD**

Cuando se presenta alguna anomalía o bien la unidad es requerida para su mantenimiento anual es solicitada su libranza al sistema. Efectuando las siguientes maniobras.

- 1.-Bajar carga paulatinamente e ir disminuyendo parámetros de la caldera como son: presión y temperatura del vapor, flujo de vapor a la turbina, flujo de combustible y aire para la combustión.
- 2.-Una vez que la unidad está en carga mínima se abre el interruptor principal del generador que consiste en alimentar la unidad de energía de la subestación.
- 3.-Se procede a disparar la turbina por cualquiera de sus protecciones y consiste en cerrar la válvula principal de corte vapor y abrir los drenes del sobrecalentador y en servicio tornaflecha.
- 4.-Romper vacío en el condensador principal.
- 5.-Poner fuera de servicio las extracciones de vapor.
- 6.-Apagar la caldera abatiendo su presión y temperatura de acuerdo con curva de enfriamiento y fuera de servicio, T., forzado e inducido.

**Nota.** - El ventilador de tiro forzado se pone E/S después 8 hrs., apagando la caldera para enfriar la misma en caso de que se le vaya dar mantenimiento.

**Nota.-** el tornaflecha de la tubería también deberá permanecer en servicio a menos de que se vaya a dar mantenimiento a la turbina y por lo tanto en servicio de lubricación y el agua de enfriamiento de la torre.

