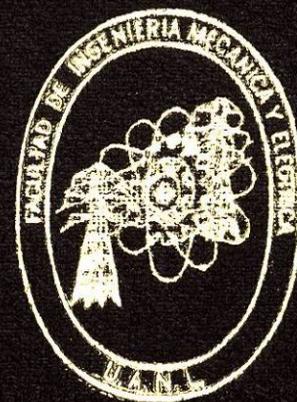


**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA**



**DESCRIPCION Y OPERACION**  
**DE CENTRALES TERMoeLECTRICAS**

**EXAMEN TIPO "B" MODIFICADO**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**PRESENTA**

**ELIOT SOLIS VICENCIO**

**MONTERREY, N. L., 1996**

T

TK13

S6

c.1



1080072279

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



DESCRIPCION Y OPERACION  
DE CENTRALES TERMoeLECTRICAS

EXAMEN TIPO "B" MODIFICADO  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

PRESENTA

ELIOT SOLIS VICENCIO

MONTERREY, N. L., 1996

T  
TK 1360  
S 6



## INDICE

I.-INTRODUCCION.....	1
II.- DESCRIPCION DE UNA CENTRAL TERMOELECTRICA.....	3
III.- GENERADOR DE VAPOR.....	6
IV.- TURBINAS DE VAPOR.....	15
V.- GENERADOR DE C.A.....	27
VI.- SISTEMA DE COMBUSTIBLE Y SUBESTACION ELECTRICA.....	35
VII.- SUMINISTRO DE AGUA A LA CENTRAL TERMOELECTRICA.....	37

## I.- INTRODUCCION

El empleo de la energía en la vida moderna se halla tan extendido, que todos los estudiantes de ingeniería, independientemente de su fin principal, deben poseer un conocimiento básico de aquélla. Tanto en las épocas históricas, como en la civilización actual, ha estado la humanidad muy vinculada con la energía, y existen pocas razones para dudar que en el futuro no dependa todavía más de esa cosa llamada energía. La misma existencia exige que aún un animal la produzca y la consuma. Hasta que el hombre encontró manera de utilizar la energía de manantiales fuera y más allá de sus propios esfuerzos físicos, su estancia en la tierra fué muy parecida a la de los animales.

La energía se encuentra asociada con la substancia física, pero no es una substancia en sí. Se manifiesta por el estado de excitación y de animación que asume el material que recibe energía. Vemos sus manifestaciones por dondequiera alrededor de nosotros, en actividad corpórea producida por el consumo de alimentos que contienen energía o masa en movimiento, el viento y las olas, proyectiles y vehiculos; la vemos en calor recibido del sol, también como calor generado por los combustibles y de otras fuentes; la vemos en la súbita puesta en marcha de un motor eléctrico conectado a una lejana central. Los ejemplos que podrían citarse son casi innumerables. En esta era, la energía se produce en cantidades enormes y al producirse mayores cantidades de ella, por persona, el bienestar, las comodidades y placeres de la vida han aumentado siempre.

Todas estas manifestaciones se clasifican cómodamente así: (1) Trabajo mecánico, (2) Calor, (3) Electricidad, y (4) Radiación. Para entender nuestro tema nos enfocaremos en la energía eléctrica. Las Centrales Termoeléctricas son una fuente de energía eléctrica, ésta nos entrega potencia, la potencia es la cantidad de energía que fluye y supone que una planta de fuerza es una unidad que se construye para la producción y distribución de una corriente de energía mecánica y eléctrica.

En lenguaje común, una máquina o conjunto de equipos que producen y distribuyen una corriente de energía mecánica o eléctrica es una central. Por lo tanto, un motor de combustión interna es una planta de fuerza, una rueda hidráulica es una planta de fuerza, etc. Sin embargo, lo que generalmente entendemos con este término es el conjunto de equipos, localizados permanentemente en un lugar elegido, que recibe energía en la forma de una sustancia, que se puede tratar en tal forma, que produzca energía eléctrica que se distribuirá de la central. Esto es, vamos a obtener energía eléctrica a través de la transformación de la energía calorífica a energía cinética, luego a energía mecánica y finalmente a energía eléctrica, todo este proceso se logra en la Central Termoeléctrica lo cual es el enfoque que tiene la tesis que su servidor presenta.

## **II.- DESCRIPCION DE UNA CENTRAL TERMoeLECTRICA**

Una central termoelectrica está compuesta principalmente por un generador de vapor, una turbina, un generador de C.A., excitador, subestación eléctrica, etc.

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

El objetivo de una central termoelectrica es la producción de la energía eléctrica partiendo de un combustible, el cual es suministrado por medio de un mecanismo hasta el hogar de la caldera donde se provoca la combustión, suministrando aire por medio de un ventilador denominado tiro forzado y un transformador de ignición que alimenta de C.D. al electrodo de una 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 a 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., 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.

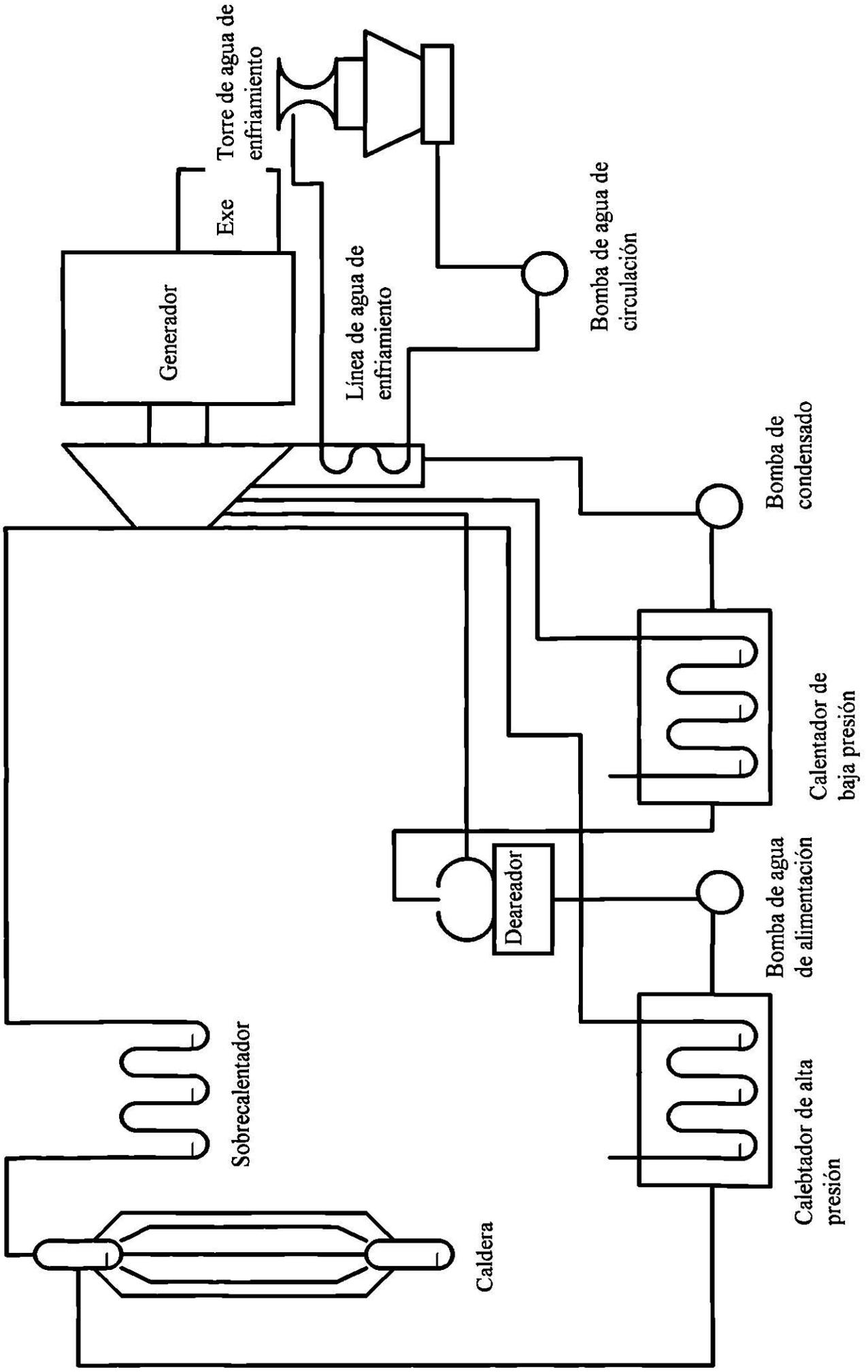
Volviendo con el ciclo agua-vapor que trabajó en la turbina una vez que pierde presión y temperatura es condensado por medio de intercambiador de calor de superficie utilizando agua procedente de una torre de enfriamiento.

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 deareador que cumple con dos funciones; la primera como calentador de agua y la segunda para desalojar los gases indeseables del sistema que pudieran producir corrosión en tuberías y en el generador de vapor.

Después del deareador se tiene una bomba de agua de alimentación que se encarga de suministrar el agua al generador de vapor ó 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 ó Regenerativo según sea el caso si se utiliza o no calentadores de agua de alimentación.

# CICLO AGUA-VAPOR DE UNA CENTRAL TERMOELECTRICA

Línea principal de vapor



### **III.- GENERADOR DE VAPOR (CALDERA)**

#### **A).- Descripción de un generador de vapor.**

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 ó pirotubulares para flujos pequeños.

En las centrales termoelectricas 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 tiro balanceado donde se utiliza además de un ventilador de tiro inducido, provocando una presión negativa en cámara de combustión.

El proceso que lleva un generador de vapor 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, ha partir de ahí el agua desciende por tubos llamados (Down-Commers) hasta los cabezales que alimentan las paredes de agua, las cuales rodean el hogar ó cámara de combustión hasta llegar a su punto de ebullición.

Ascendiendo el vapor por otros tubos hasta llegar al domo superior o colector de vapor, donde la mitad es agua y la otra mitad es vapor; dicho vapor es saturado y como en la turbina se requiere vapor seco, es por eso que el vapor se hace pasar por un sobrecalentador donde se incrementa su temperatura por medio del poder calorifico de los gases de la combustión.

## **B).- Partes principales de un generador de vapor**

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

- 1.- Paredes de agua: recubren el hogar ó camara de combustión y sirven para hervir el agua que va al domo superior.
- 2.- Domo superior: conocido también como colector de vapor; en su interior se encuentra a cierto nivel de agua y el otro de vapor saturado.
- 3.- Domo inferior: conocido como colector de lodos, su función es la de sedimentar todas las particulas en suspenso que no se eliminaron en el tratamiento de agua.
- 4.- Quemadores: su función es la de inyectar combustible al interior del hogar bajo ciertas circunstancias.
- 5.- Sobrecalentador: su función es la de llevar la temperatura de vapor a presiones adecuadas de operación para la tubería, aprovechando el poder calorífico de los gases de combustión.
- 6.- Precalentador de aire: se encarga de aumentar la temperatura del aire que se requiere para la combustión así como disminuirle la temperatura de los gases de combustión.
- 7.- Economizadores: su función es la de elevar la temperatura de agua de alimentación a la caldera de manera que se consuma menos combustible.
- 8.- Ventilador de tiro inducido: se encarga de sustraer los gases producto de la combustión y expulsarlos atravez de la chimenea.
- 9.- Ventilador de tiro forzado: se encarga de empujar los gases producto de la combustión y expulsarlos atravez de la achimenea.
- 10.- Chimenea: Es el conducto de escape de los gases de la combustión a la atmósfera.

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

### **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 Monterrey utiliza gas natural; las central termoeléctrica Monterrey ubicada en Apodaca N.L. utiliza gas natural como encendido de la caldera y posteriormente utiliza combustóleo, lo mismo ocurre con Planta Eléctrica Grupo Industrial (PEGI), cabe mencionar que 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 base de carbón mineral no coquizable, extraído de una mina localizada a unos 20 Kms. de la planta.

### **D).- Sistema de alimentación de combustible a la central termoeléctrica.**

Existen diversos sistemas de alimentación de combustible dependiendo de que combustible sea utilizado: la mayoría de las centrales termoeléctricas utilizan como combustible de encendido el gas natural ó el diesel y posteriormente hacen el cambio a combustóleo ó carbón.

La figura 3.1 muestra un sistema de gas natural en una central termoeléctrica.

La figura 3.2 muestra un sistema de suministro de combustóleo.

En la red de gas el suministro es alimentado por un gasoducto llegando a una caseta de consumo instalada en la central térmica, posteriormente pasa por diversas estaciones reductoras de presión hasta llegar a los quemadores.

En cambio el combustóleo requiere de un sistema de calentamiento por medio de vapor de las propias calderas utilizando intercambiadores de calor, además de la inyección de aditivos y vapor para la atomización del combustóleo al momento de la inyección a los quemadores. Con relación al carbón este es transportado desde la mina hasta la planta por medio de bandas transportadoras, ferrocarril ó camiones.

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

#### **E).- Sistema Aire-Gases**

Entre los equipos auxiliares esenciales para la operación del generador de vapor nos encontramos con los equipos destinados al suministro de aire al hogar y la evacuación de los gases de la combustión, estos equipos los componen: Chimenea, ductos, compuertas, ventilador de tiro forzado y 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:** 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 permiten la dilatación del material.

**Ventilador de tiro forzado:** Es el encargado de suministrar el aire necesario al interior del hogar para llevar a cabo la combustión.

**Ventilador de tiro inducido:** Este ventilador 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 ó gases para que la caldera opere correctamente; estas compuertas son operadas manualmente ó neumáticamente desde la sala de control.

#### **F).- Protecciones de un generador de vapor.**

Las protecciones de un generador de vapor son mecanismos que ayudan a evitar operaciones riesgosas que poenen en peligro la instalación y todo lo que lo rodea; las calderas por lo general tienen las siguientes protecciones:

- Muy bajo nivel de agua en el domo: Dispara la caldera a -20 cm.
- Muy alto nivel de agua en el domo: Dispara la caldera a los + 20 cm.
- Tiro forzado encendido: Dispara la caldera si se apaga el tiro forzado.
- Tiro inducido encendido: Dispara la caldera si se apaga el tiro inducido.
- Switch de presión diferencial del tiro forzado.
- Switch de presión diferencial de tiro inducido.
- Alta presión de gas a quemadores: Dispara la caldera a los 0.8 Kg/Cm<sup>2</sup>.
- Baja presión de gas en el cabezal (línea de suministro): Dispara la caldera a 1.5 Kg/Cm<sup>2</sup>.
- Baja presión de combustóleo en quemadores: Dispara la caldera al llegar a 1.8 Kg/Cm<sup>2</sup>.
- Baja temperatura de combustóleo en quemadores: Dispara la caldera al llegar a 95 Grados Centrigrados.

-Presión diferencial del vapor de atomización: Se dispara al llegar a 1Kg/Cm<sup>2</sup>.

-Falla de flama en los quemadores.

-Botón de paro de emergencia: Localizados en las casetas de fogoneros.

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 valvulas de seguridad instaladas en el domo superior y la línea principal de vapor que permitan aliviar la presión de la caldera en caso necesario.

### **G).- Sistemas Auxiliares e instrumentación de un generador de vapor.**

Dentro de los sistemas auxiliares de un generador de vapor se tienen los siguientes:

- Válvula de purga de fondo: Sirve para drenar las calderas cuando se le va a dar

mantenimiento ó bien en operación cuando existe contaminación en el agua.

-Válvula de purga continua: Sirve para controlar los parámetros químicos del agua.

- 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 con vapor para que pueda ser

manejado por una bomba y descarga 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 presión que permitan operar eficientemente.

Figura 3.1 Sistema de gas natural a la caldera

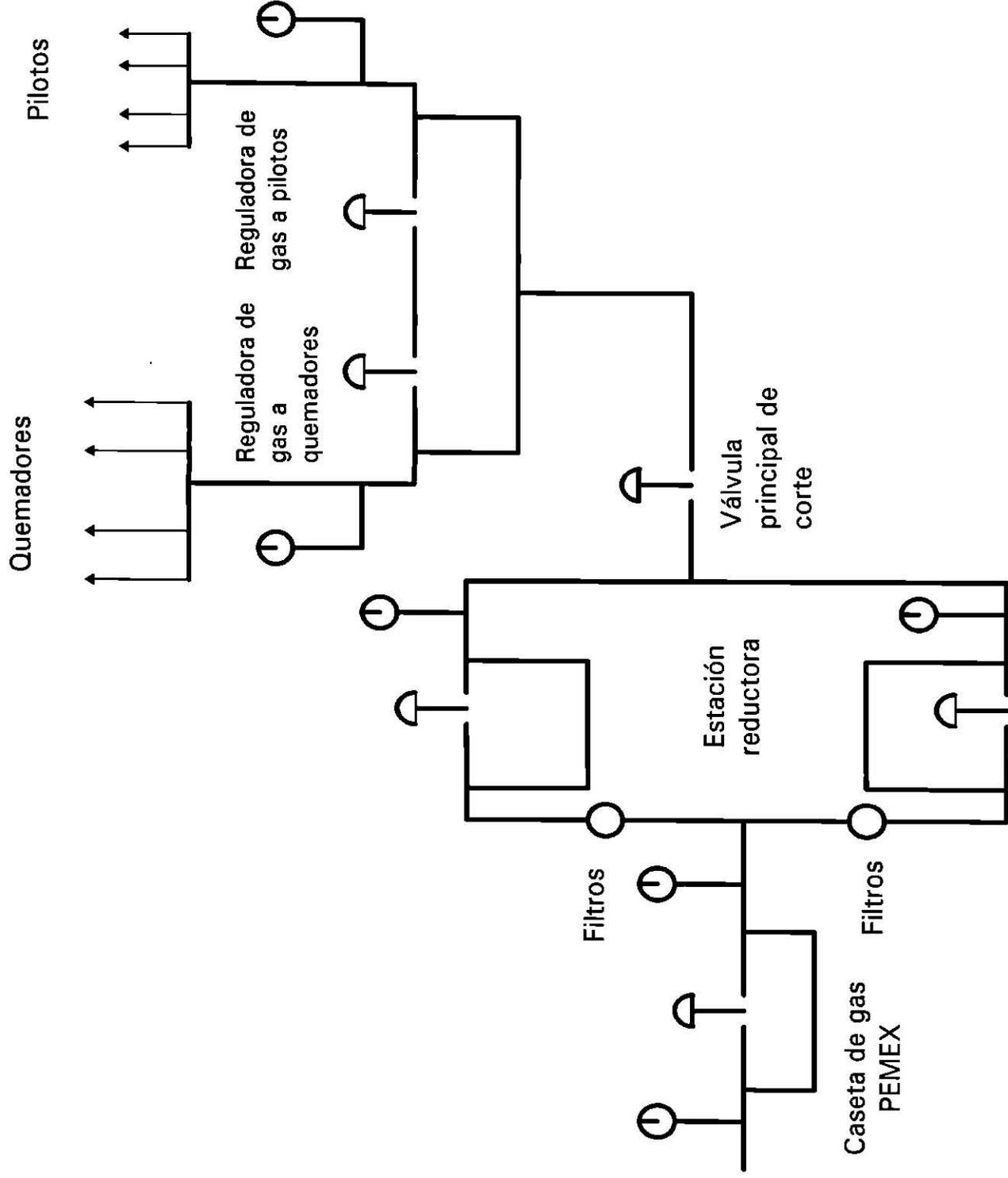
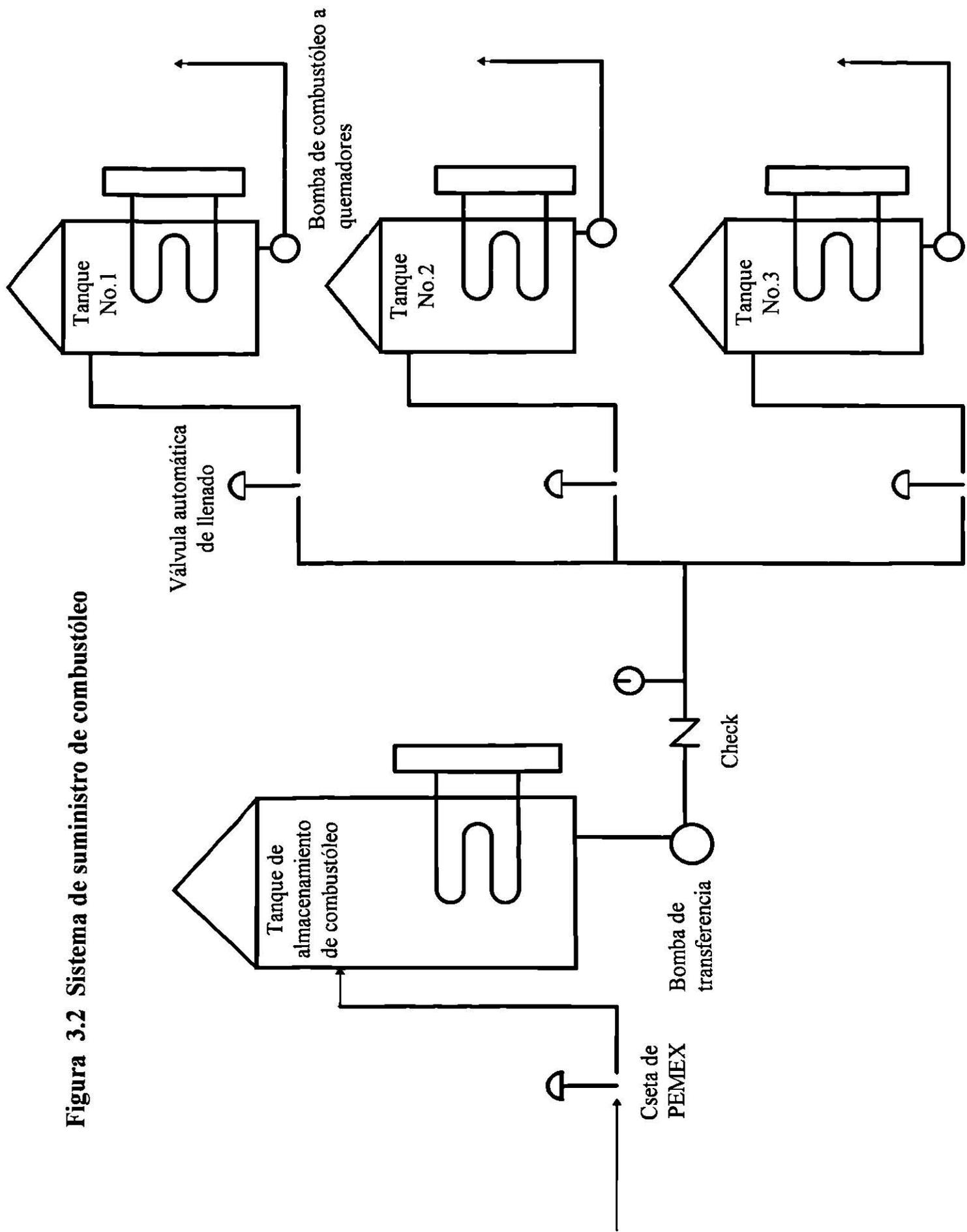


Figura 3.2 Sistema de suministro de combustóleo



## **IV.- 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 al generador eléctrico en una central termoeléctrica convirtiéndose así en energía eléctrica. La turbina de vapor trabaja bajo el principio de una tobera.

La clasificación general de las turbinas de vapor son: De acción o impulso y turbinas de reacción. Una turbina de acción es aquella donde el vapor sufre una expansión en las toberas fijas o alabes aumentando la velocidad del flujo de vapor y en sentido contrario a la acción del vapor.

Una turbina de reacción es aquella donde el vapor se expande en los álabes 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 el vapor 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 una expansión bajando su presión y su temperatura, posteriormente a través de un "cross-over", el vapor es introducido a la turbina de baja presión sufriendo ahí su última expansión descargando el vapor hacia el condensador principal.

Ver fig. 4.1 de arreglo de las turbinas de gran capacidad .

## **B).- Partes principales de una turbina de vapor**

Una turbina está compuesta principalmente por una carcasa y un rotor; en la carcasa van alojados los álabes fijos y en el rotor los álabes 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 álabes fijos y móviles rocen.

La turbina tiene un sistema de lubricación de aceite compuesto por unas bombas que permiten mantener siempre lubricadas las chumaceras. Además se tiene un sistema de gobierno que controla la velocidad de la turbina por lo general a 3600 r.p.m. cuando el gobernador de C.A. es de 2 polos.

Las turbinas de vapor que tienen condensador, es decir, el vapor de descarga es una presión negativa, por lo cual está provista 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 por el lado de alta presión.

Partes principales de una turbina:

- 1.- Tobera plan (primer estado)
- 2.- Intermedia (primer estado)
- 3.- Rueda de álabes (primer estado)
- 4.- Carcasa de alta presión
- 5.- Carcasa de desfogue
- 6.- Tobera de diafragma (14vo. Estado)
- 7.- Rueda de álabes (14vo. Estado)
- 8.- Bomba de aceite y gobernador
- 9.- Gobernador de emergencia

- 10).-Chumacera de empuje
- 11).-Gobernador de velocidad
- 12).-Dispositivo de paro de emergencia
- 13).-Dispositivo de sincronización
- 14).- Relevador primario
- 15).-Mecanismo controlador de válvulas
- 16).- Anillo de balanceo
- 17).- Cubierta del eje
- 18).- Chumacera de apoyo

### **C).- Sistema de control de velocidad de una turbina.**

El sistema de control de velocidad de una turbina de vapor de una central termoeléctrica, su operación consiste en mantener constante la velocidad ( a 3600 rpm), para mantener la frecuencia y voltaje de salida del alternador; por tal motivo se requiere de un sistema que 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 válvula de admisión que permite la entrada de vapor en una cantidad necesaria para mantener la velocidad anterior 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. Cuenta con una bomba principal de aceite accionada por la flecha de la turbina y es esta bomba la que mantiene la lubricación en operación normal, es decir cuando la turbina gira a 3600 rpm aproximadamente entonces la lubricación por ésta bomba y se mantiene en servicio hasta que se dispara la turbina.

## Funcionamiento del sistema de aceite:

La bomba principal manda su caudal al relevador primario del regulador de velocidad que actúa sobre la cara del émbolo y hace funcionar el relevador secundario.

Además el mecanismo de disparo de emergencia lo hace funcionar para que cuando éste se accione no permita el paso del aceite abatiéndose la presión y haciendo descender el émbolo que cierra la válvula principal de vapor.

El mismo ramal suministra al switch eléctrico para el mismo objeto (cerrar la válvula principal de vapor).

Existe otra línea al regulador de vapor de los sellos para su utilización en los émbolos unidos a sus palancas y válvulas controlen la presión de vapor a los sellos.

Del ramal izquierdo de la bomba parte otra línea que conduce el aceite al enfriador de aceite, el que después de enfriado se traslada a todas las chumaceras de la máquina.

El aceite antes de ir al enfriador de aceite pasa por una válvula de tres vías la que es realmente "by-pass", ya que puede desviar el flujo de aceite para no inyectarlo al enfriador e inyectarlo directamente a las chumaceras (al arrancar una turbina utilizando el aceite frío), abriendo la válvula.

De este ramal se desprende una línea al manómetro indicador de presión del aceite a las chumaceras.

-Componentes del sistema de aceite :

- A).- Regulador de la bomba
- B).- Bomba auxiliar de aceite

- C).- Gobernador de velocidad
- D).- Mecanismo de disparo
- E).- Regulador de vapor a sellos
- F).- Switch solenoide de disparo
- G).- Disparo de la válvula principal
- H).- Válvula de disparo para las válvulas check
- I).- Válvula de tres vías
- J).- Válvulas de alivio
- K).- Bomba principal de aceite
- L).- Válvula de presión a chumaceras

### **E).- Sellos de vapor**

Las turbinas positivas de condensador, es decir que el vapor ya trabajado en la misma es descargado a presión negativa y por lo tanto se requiere de unos sellos que no permitan entradas de aire y evitan que se pierda la presión de la turbina, también es sellado para evitar fugas de vapor y logrando con esto hacer más eficiente la turbina, ver fig. 4.2

### **F).- Condensador principal**

El condensador principal es un intercambiador de calor de superficie que va instalado en la parte inferior de la turbina de baja presión y sirve para cambiar de estado el vapor que trabajó en la turbina convirtiéndose en agua, para que nuevamente sea suministrado a la caldera y continúe con el ciclo agua-vapor.

Para cumplir con dicho funcionamiento es necesario hacer pasar un fluido, en este caso agua procedente de una torre de enfriamiento 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 de 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 de desfogue del vapor con una presión de 700 mm. De Hg de vacío. Ver fig. 4.3

### **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 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 el efecto se tienen 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 o aire del interior del condensador provocando la presión negativa o vacío. Ver fig. 4.4

En el inicio de la operación del turbogenerador 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.

### **H).- Extracción de vapor**

A las turbinas de vapor se les practican unos orificios en diferentes etapas de las mismas con la finalidad de desviar vapor que ya trabajó en algunas ruedas de álabes con el objetivo de calentar el agua de alimentación que regresa a la caldera, estas desviaciones se le llama extracciones de vapor y van directamente a unos

intercambiadores de calor donde pasa el agua hacia la caldera, de las extracciones se condensa retornando dicho condensado al sistema ya sea al condensador principal o al deareador.

Las extracciones de vapor tienen a la salida de la turbina unas válvulas no retorno que evitan el regreso de vapor o agua a la misma pudiendo dañarlas. Ver fig. 4.5

**Figura 4.1 Arreglo de turbinas de gran capacidad**

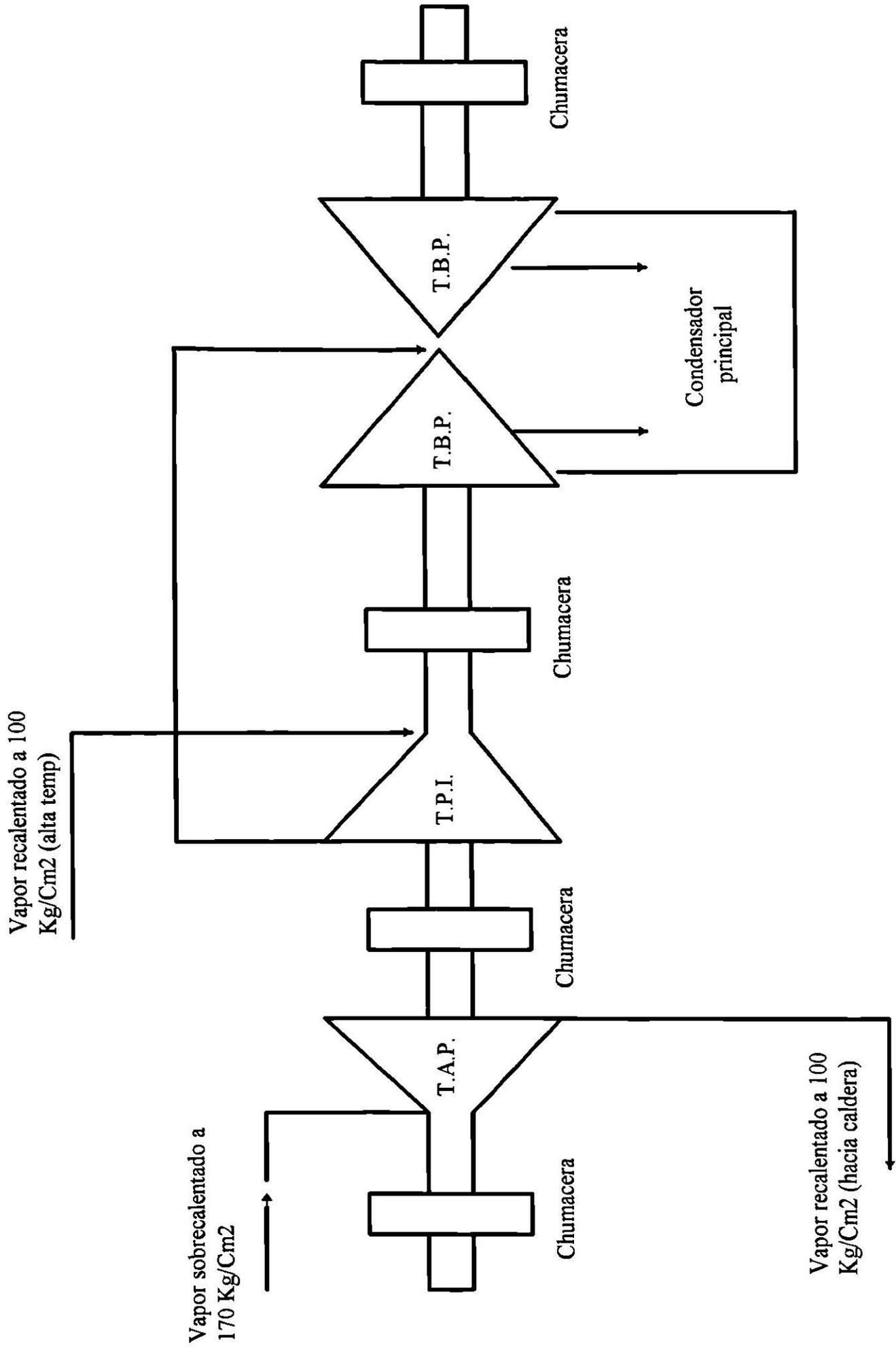


Figura 4.2 Arreglo de vapor a sellos

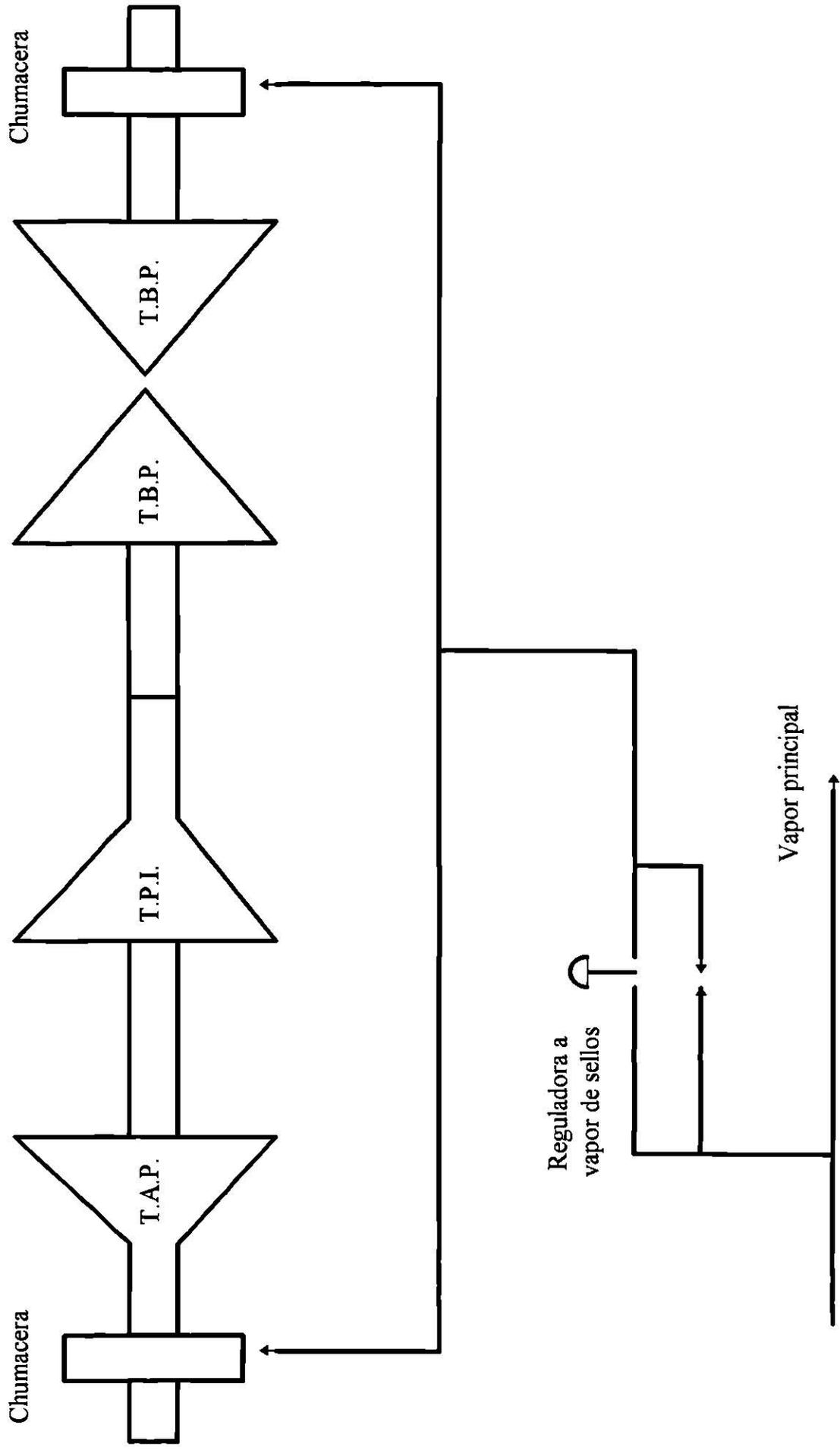
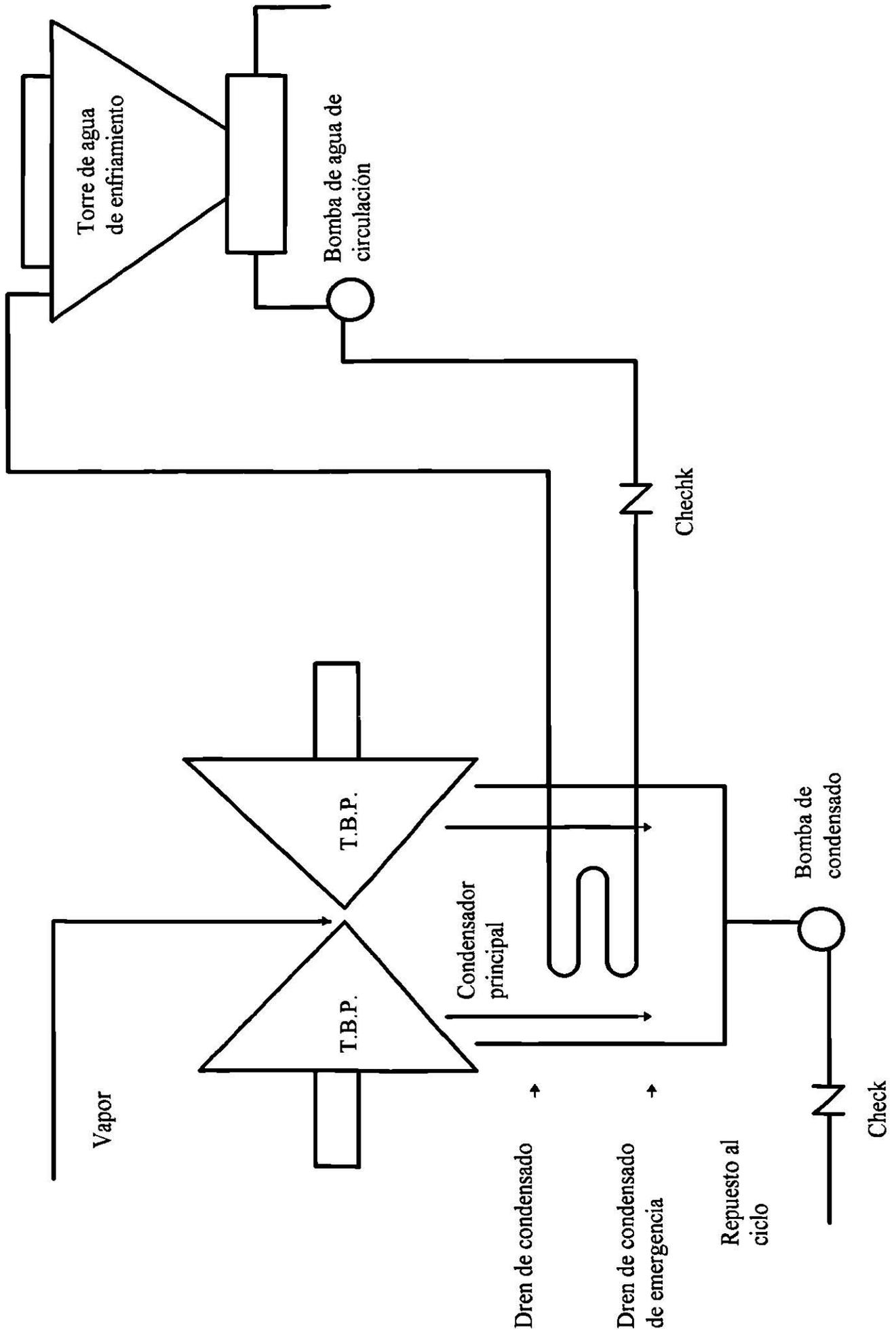
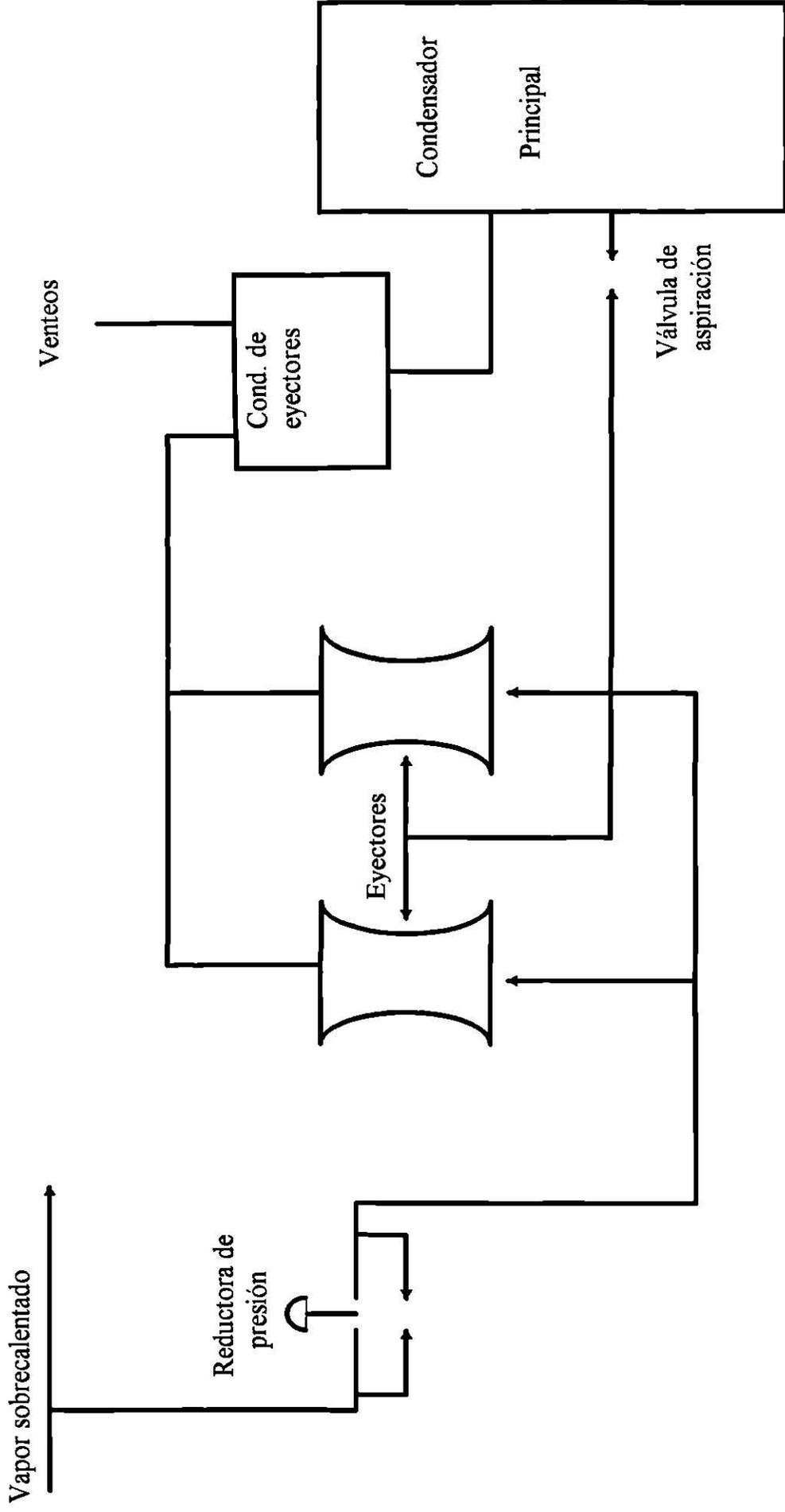


Figura 4.3 Arreglo del condensador principal



**Figura 4.4 Sistema de vacío del condensador principal**





## **V.- GENERADOR DE C.A. (ALTERNADOR)**

### **A).- Descripción de un generador de C.A.**

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

Un generador de C.A. esta 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 formando un electroimán que a su vez crea un campo magnético que atraviesa la bobinas del estator creando una fuerza electromotriz.

Los generadores de corriente alterna utilizados en centrales termoeléctricas comúnmente generan 13800 a 20000 volts, posteriormente este voltaje es elevado por medio de un transformador de potencia para llevarla a los centros de consumo en donde ese voltaje es disminuido mediante otro transformador.

La corriente directa que se le proporciona al generador es producida por un mecanismo motriz llamado excitatriz acoplado directamente a la flecha del turbogenerador o bien por una excitatriz estática que consiste en un grupo de rectificadores alimentados por un transformador de excitación de corriente alterna.

El estator de los generadores de corriente alterna sufre 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 siete veces más conductor térmico que el aire, el problema que se tiene es el manejo del hidrógeno, debido a su alta explosividad, para esto se tienen sistemas de sellado en donde se trabajará dicho gas (el generador).

## **B).- Sistema de enfriamiento de un generador de C.A.**

Como se dijo anteriormente los primeros generadores se enfriaban por aire posteriormente cuando fué 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 aproximada de 120 Kg/Cm<sup>2</sup>, dicho cilindro es conectado por medio de un cabezal y de una estación reductora que nos da la presión requerida (de 2 a 3 Kg/Cm<sup>2</sup>) en el interior del generador.

En un inicio, cuando se va a poner en servicio un generador, el interior del mismo está con un volumen determinado de aire, por lo que es necesario barrerlo con bioxido de carbono y posteriormente suministrarle el hidrogeno para evitar que se mezcle con el aire, ya que una mezcla de un 25% de hidrógeno se vuelve explosiva, para tal efecto se cuenta con un equipo de medición de pureza de hidrógeno.

Como el hidrógeno se calienta es necesario enfriarlo utilizando unos intercambiadores de calor por donde se hace pasar agua procedente de una torre de enfriamiento.

## **C).- Sistema de excitación del generador de C.A.**

Este sistema se encarga de suministrarle corriente directa el generador para generar el campo magnético que se requiere para el movimiento del rotor.

Algunos turbogeneradores llevan en su extremo acoplado un generador de corriente directa llamada excitatriz que trabaja bajo el principio de imán permanente que al estar girando el rotor produce un flujo de corriente directa el cual llega a los anillos colectores del alternador.

## **D).-Protecciones del generador de C.A.**

El equipo turbina-generador-excitatriz, cuenta con diversos dispositivos de protección, los cuales solo sacan de la línea a la máquina ó la botan completamente así como también cuenta con diversas alarmas para los equipos auxiliares. De los dispositivos con que cuentan estas máquinas están los relevadores de protección y los reactores así como las manijas y dispositivos de emergencias que se operan manualmente. A continuación se mencionan los dispositivos y su ubicación en la fig. 5.1

1.- Reactor: Estos reactores son reactancias limitadoras de protección de corriente por fase, de núcleo de aire para circuito de 13.8 Kv, son bobinas conectadas en serie, el cual uno de sus extremos está conectado a tierra y el otro al neutro de la conexión en estrella de los generadores (Donde se conectan los tres sistemas de los devanados), sirve para proteger a los generadores contra cortos circuitos impidiendo que estos se dañen, ya que cuando ocurre este problema, la corriente de corto circuito a tierra que pasa del reactor al generador será limitada a un valor mínimo, para que funcionen los relevadores de protección a tierra.

2.- Relevador Diferencial Tipo C.A.: Estos relevadores con una sensibilidad del 10% operan además del disparo del interruptor principal, el disparo del interruptor de excitación y el disparo de la válvula principal de vapor de la turbina.

3.- Relevador de Sobrecorriente Tipo COV: Estos relevadores están conectados para operar únicamente el disparo del interruptor principal del generador.

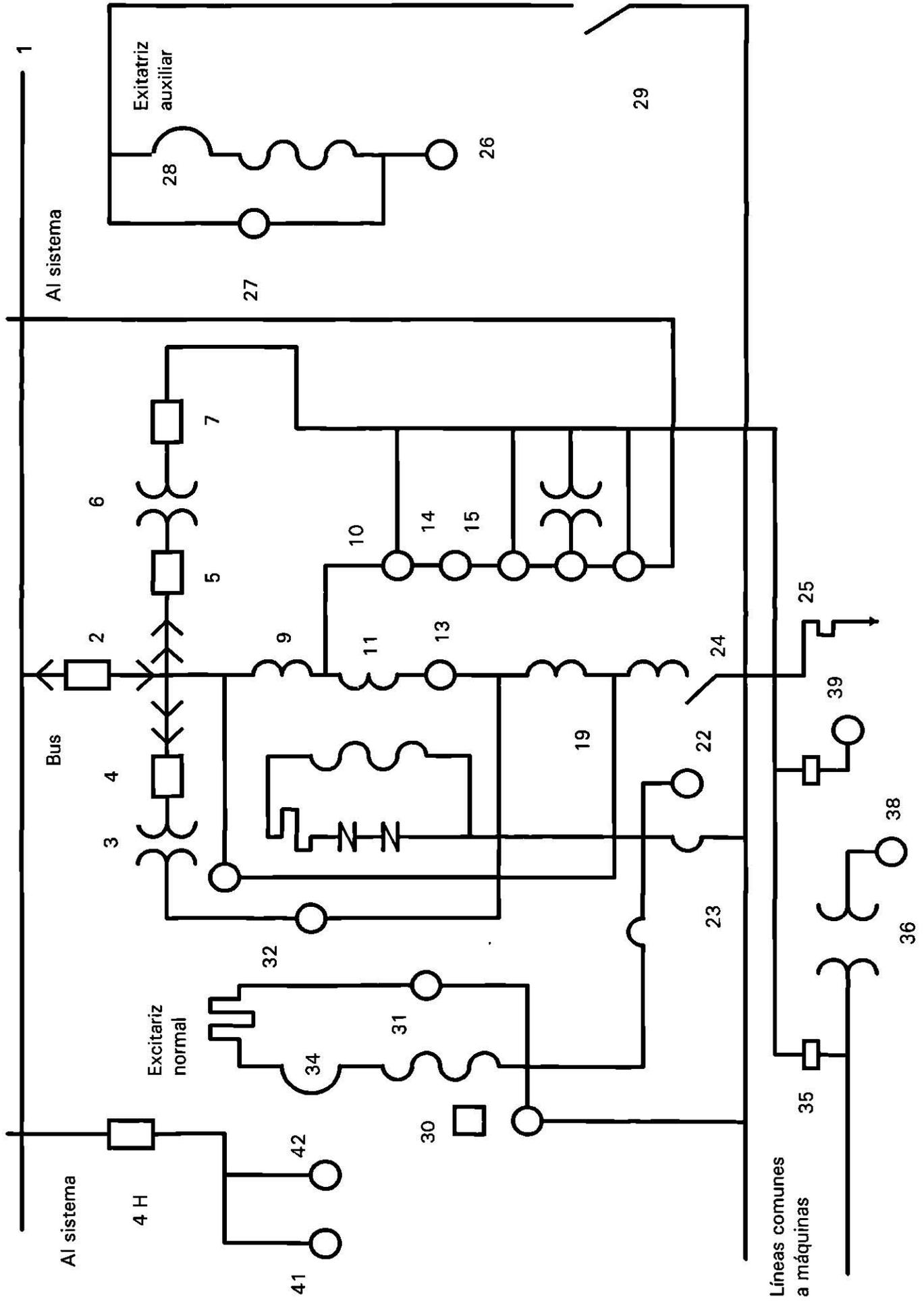
4.- Disparo de Emergencia por Sobre-velocidad: El sistema está localizado en el extremo de la flecha, en el lado de alta presión, este disparo sirve para cerrar la admisión de vapor a la turbina cuando ésta por alguna razón llegue a una velocidad que sobrepase la velocidad normal (3600 rpm), en un 10%, esto es 3960 rpm, éste disparo opera mecánicamente cerrando completamente la válvula principal de vapor.

5.- Manija de Disparo en el Banco de Auxiliares: Esta manija cierra la válvula principal de vapor a la turbina y esta dispara al interruptor del generador.

6.- Disparo de Emergencia: Ubicado en la cabeza de la turbina trabaja de la misma manera que el anterior y es operado manualmente.

7.- Manija en el Tablero de la Máquina: Esta manija saca de la línea al turbogenerador sin botar la turbina.

Figura 5.1 Diagrama unifilar de un generador



## **COMPONENTES DEL DIAGRAMA UNIFILAR DEL GENERADOR**

- 1.- Barras colectoras de cobre de 1.3 mm de espesor por 76 mm de ancho.
- 2.- Interruptor de aceite, con capacidad interruptiva de 21,000 amps, 13,000 volts
- 3.- Transformador de potencial, monofásico, relación de transformación: 14000/120 volts
- 4.- Cartucho fusible de 15 Kv, capacidad interruptiva de 80,000 amps.
- 5.- Cartucho fusible de 15 Kv, capacidad interruptiva 120,000 amps.
- 6.- Transformador de potencial monofásico, relación de transformación: 14,000/120 volts.
- 7.- Cartucho fusible capacidad interruptiva 250 volts.
- 8.- Relevador de protección diferencial, 5 amps, 10% de sensibilidad, tipo CA. (E).
- 9.- Transformador de corriente, relación de transformación 600/5 amps
- 10.- Relevador de sobrecorriente con control de voltaje, tipo COV (J).
- 11.- Reactores monofásicos servicio interior, 60 Hz, 564 KVA, 430 Amp, 436 Volts, para circuitos con voltaje de 13,800 volts.
- 12.- Resistencia de 0.6 ohms, 600 volts, 77 amps.
- 13.- Generador de C.A, 2 polos, 60 ciclos, 3 fases, 9,375 Kva, 600 rpm, 13,800 Volts, F. 80%, 7,500 Kw, 125 Volts de C.D. de excitación.
- 14.- Amperímetro de C.A. del generador, escala de 0 a 600 Amps. (C).
- 15.- Aattometro del generador, escala de 0 10,000 Kw en C.A. (A).
- 16.- Factorímetro escala 60 a 100 atrasado y adelantado, monofásico 5 amps.(B).
- 17.- Transformador de potencia, tipo P.T. 1 fase, 115/66.5 Volts, 100 KVA.
- 18.- Wattmetro, 3 fses, 4 hilos, 60 ciclos (D).

- 19.- Transformador de corriente, doble secundario, relación de transformación 600/5 Amps.
- 20.- Transformador de corriente, relación de transformación 600/5 amps.
- 21.- Interruptor, 600 Volts C.A. 250 Volts de C.D. para excitatriz normal.
- 22.- Amperímetro C.D. escala de 0 a 150 Amps para excitatriz normal y de emergencia (G).
- 23.- Interruptor, 600 Volts C.A. 250 Volts de C.D. para excitatriz de emergencia.
- 24.- Cuchillas de neutro a tierra, 600 Amps, 15 Kv.
- 25.- Resistencia del neutro a tierra, 8,000 volts, 760 Amps.
- 26.- Voltímetro de C.D. escala de 0 a 15 volts para excitatriz de emergencia (F).
- 27.- Excitatriz de emergencia de C.D. 40 Kw, 1,740 rpm, 125 Volts, 320 Amps.
- 28.- Reóstato de 65 ohms, 8.4 a 1.6 Amps, 125 Volts para excitatriz de emergencia.
- 29.- Cuchilla desconectadora, 2 polos, 250 volts, 100 amps.
- 30.- Interruptor de 10 Amp. 124 Volts, Tipo W.
- 31.- Excitador normal, 40 Kw, 4 polos, 3600 rpm, 125 Volts C.D., 320 Amps.
- 32.- Regulador de voltaje, 100 a 125 Volts, resistencia de 47.5 Ohms.
- 33.- Voltímetro de C.D. escala de 100 a 150 volts para excitariz normal (F).
- 34.- Reóstato de voltaje max. 125 Volts, 92 Amps, \*.1 Amps para excitatriz normal.
- 35.- Transformador de potencia, Tipo P.T. 1 fase, relación de transformación: 115/66.5 Kvolts.
- 36.- Sincronoscopio 120 volts, 60 ciclos. (M).
- 37.- Voltmetro del generador, escala de 0 a 18 Kv. (L)

- 38.- Voltímetro de sistema C.A., escala de 0 a 18 Kv, F.S.= 86.8 Volts, 15 a 150 ciclos (K).
- 39.- Frecuencímetro del sistema, escala de 58 a 62 ciclos, 250 Volts (n).

## **VI .- SISTEMA DE COMBUSTIBLE A BASE DE CARBON Y SUBESTACION ELECTRICA.**

### **A).- Sistema de combustible de carbón mineral.**

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

El carbón utilizado es el tipo no coquizable que proviene de unas minas subterráneas cercanas a la ciudad 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 pulverización que convierten pedazos de carbón en polvo fino el cual es arrastrado por aire hacia el centro de la caldera.

Cabe mencionar que el carbón utilizado en estas instalaciones contiene un 50% de carbón y un alto porcentaje de cenizas (40%), lo que hace la operación más complicada por los problemas ocasionados por la ceniza.

La ceniza es transportada a unos patios de almacenamiento donde es compactada.

Existen dos clases de cenizas, 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 ellos se retiene gran cantidad de cenizas que de lo contrario provocaría erosión en el ventilador de tiro inducido y contaminación ambiental al salir por la chimenea.

## **B).- Subestación eléctrica.**

La subestación es un conjunto de dispositivos eléctricos que se encargan de recibir la electricidad generada para posteriormente elevar o reducir su voltaje, así como dispositivos que interrumpen la energía en caso necesario como interruptores, cuchillas, relevadores de protección etc. Y conectarla con las líneas de transmisión que serán las encargadas de llevar la electricidad hasta los centros de consumo. Ver fig. 6.1

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

### **A).- Sistema de agua de alimentación a las calderas.**

El agua es uno de los elementos más importantes para la producción de vapor y electricidad por esta razón debe tenerse cuidado en el diseño de la central, su construcción y su operación. Entre los usos más destacados del agua es una planta son: enfriamiento al condensador, repuesto al generador de vapor, enfriamiento a chumaceras, sistema contra incendio, enfriamiento de aceite, hidrógeno o aire al 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 suministrada a las calderas procede de pozos profundos y en las grandes ciudades se utilizan para el enfriamiento de los equipos las aguas negras tratadas procedentes de la descarga de industrias, talleres, hogares y hospitales, dicha agua se le quitan los sólidos en concentración y se les normaliza su acidez o alcalinidad, se almacena en unos tanques de agua capacidad para de ahí suministrar el repuesto a torres de enfriamiento.

El agua que se utiliza en las calderas que viene de pozos profundos es pasada através de un equipo de osmosis inversa donde se le disminuye los sólidos en concentración como son: Calcio, Magnesio, Sílice, etc., después pasa a una planta desmineralizada compuesta por una unidad aniónica y una unidad catiónica que permiten mantener el P.H. (grado de acidez y alcalinidad) que permiten mantener en condiciones óptimas la tubería de todo el sistema.

Una vez que el agua ha sido tratada se alimentan los tanques de agua de repuesto al ciclo. Ver fig. 7.1 y 7.2

El sistema de alimentación es el encargado de mantener el nivel correcto de operación de agua en la caldera, para tal efecto la bomba de agua de alimentación succiona el fluido del deareador 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.

El deareador cumple con dos funciones, sirve como calentador de agua y a la vez expulsa los gases que pueden dañar la tubería del sistema.

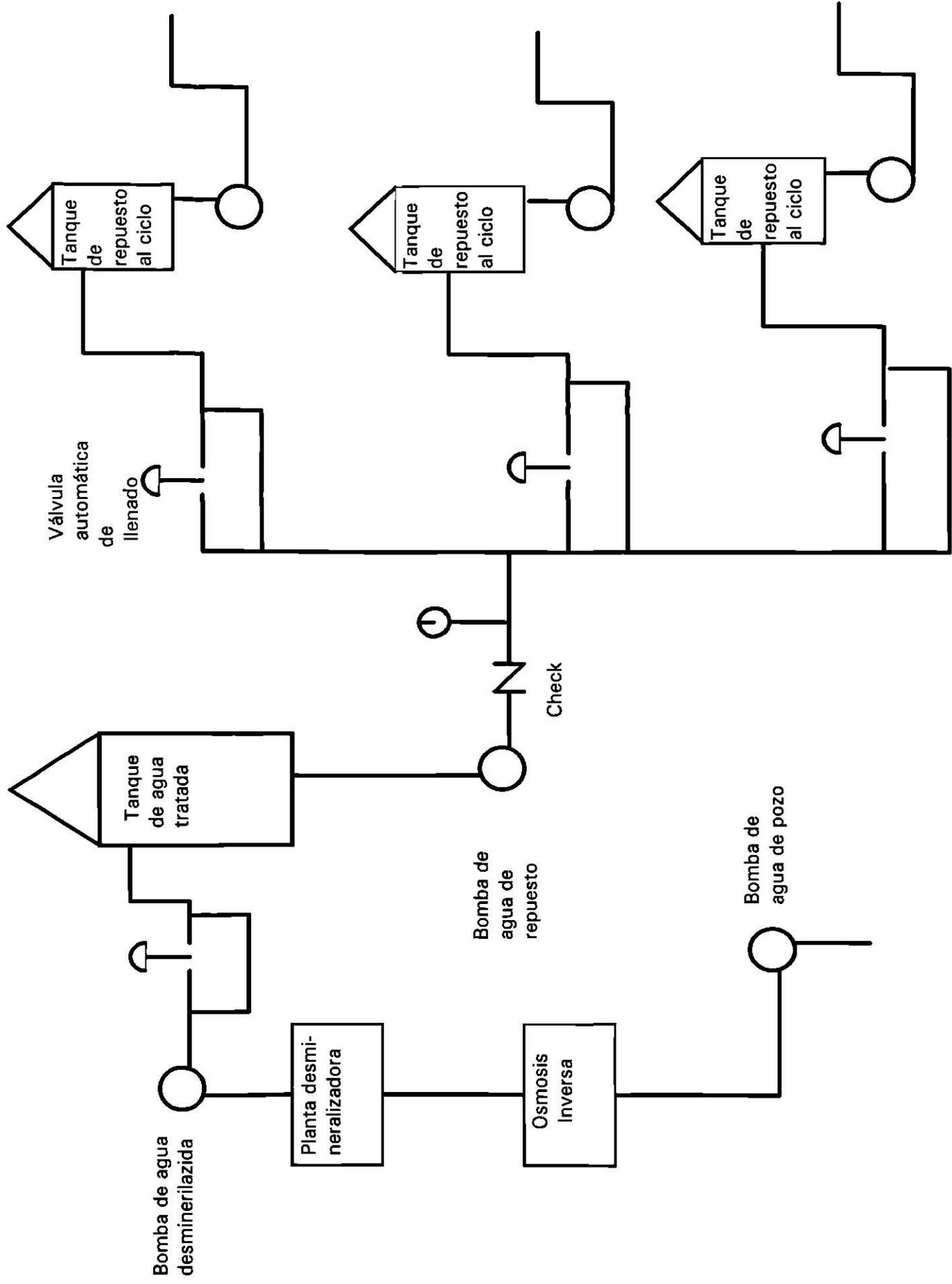
Continuando con el sistema de la bomba de descarga el agua haciéndola pasar por una reguladora de flujo de agua de alimentación y por unos calentadores que aprovechan el vapor de las extracciones de la turbina, posteriormente el flujo de agua va hacia el domo de la caldera donde puede ser regulado con 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 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 de ser necesario. En la fig. 7.3 , se muestra el sistema de agua utilizado en la mayoría de las centrales termoeléctricas.

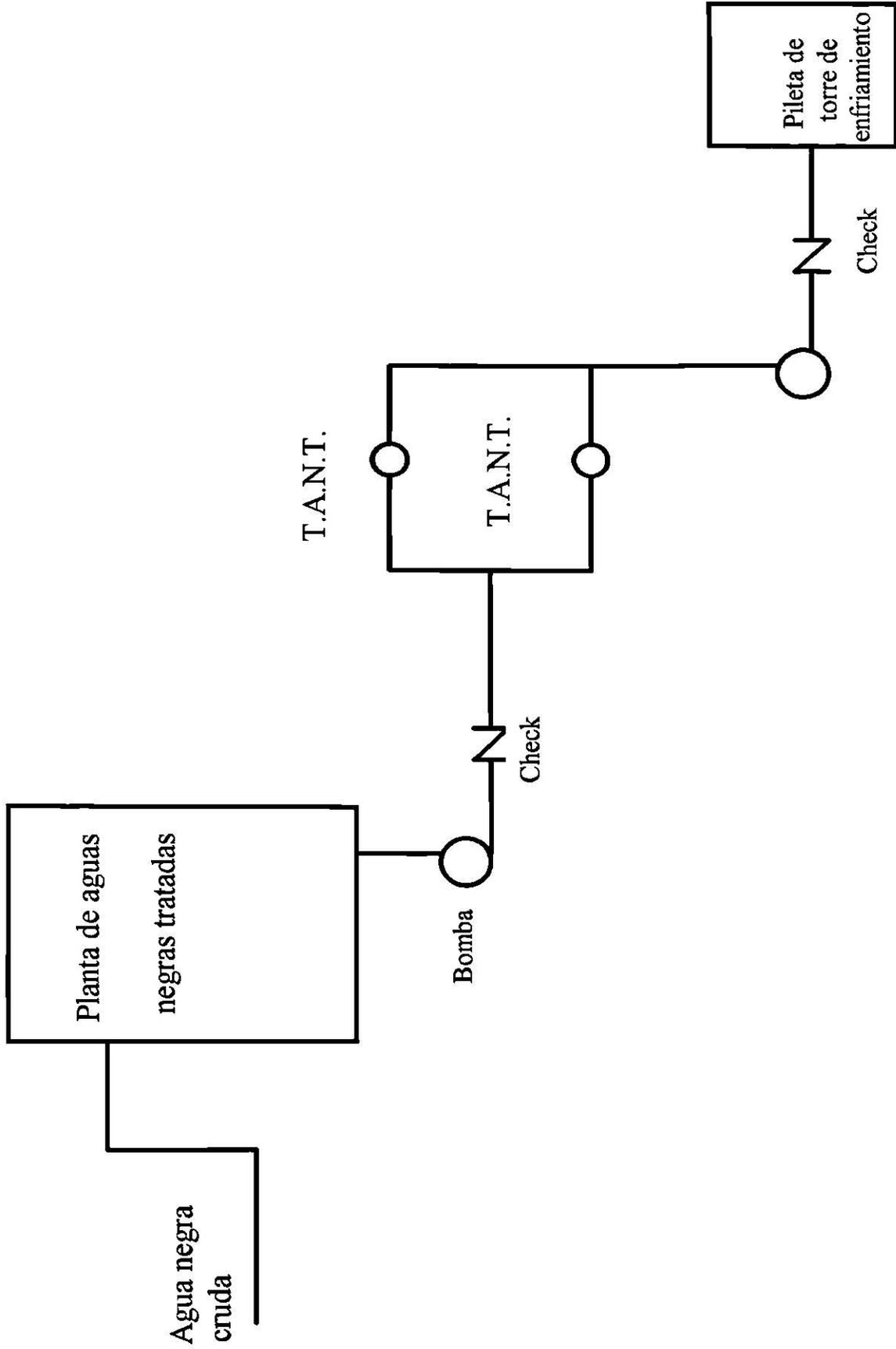
#### **B).- Sistema de agua de enfriamiento (circulación).**

Para obtener un enfriamiento en todo el equipo que tiende a calentarse se hace uso del sistema de agua de enfriamiento el cual consta principalmente de torres de enfriamiento, bombas de circulación, intercambiadores de calor para el aire o hidrógeno del generador, para el aceite, para las chumaceras, etc. En la figura 7.4 se muestra un sistema de agua de enfriamiento de una pequeña central térmica.

**Figura 7.1 Suministro de agua a la central**



**Figura 7.2 Sistema de guas negras tratadas**



**Figura 7.3 Sistema de agua de alimentación**

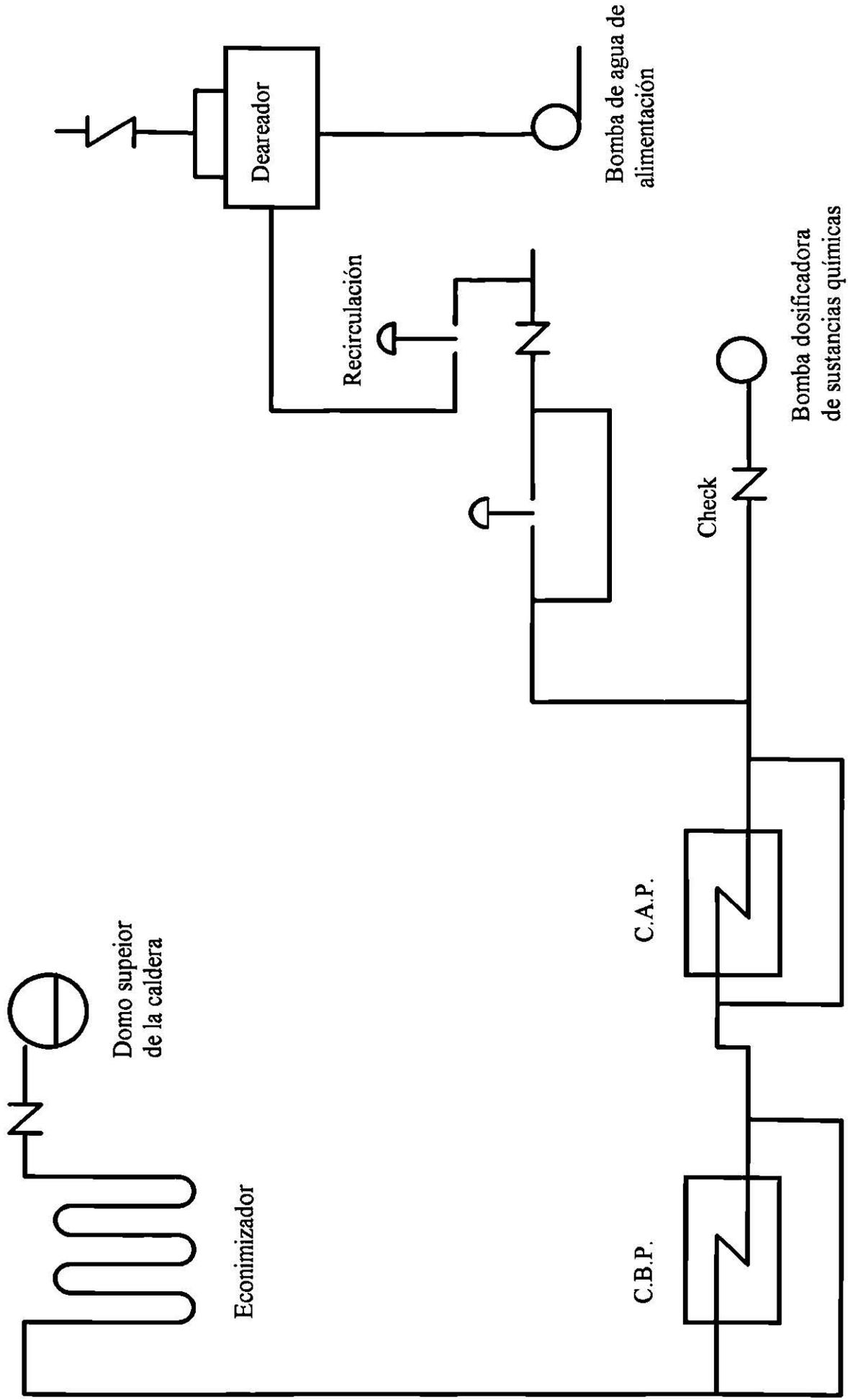


Figura 7.4 Diagrama de agua de enfriamiento

