



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE
HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

**TESIS
ANALISIS DEL SISTEMA DE BOMBAS EN UNA CENTRAL
TERMoeLECTRICA**

**Que para obtener el Titulo de
INGENIERO ELECTRICISTA**

**Presenta
Octavio Trujillo Rangel**

**Asesor de Tesis
Dr. Gilberto Gonzales Avalos**

Morelia, Michoacán, Diciembre del 2016



Agradecimientos

Quiero agradecer principalmente a mi Padre Octavio y a mi Madre María Santos, a mis hermanas Gloria, Marta, Marcelina por todo el apoyo incondicional y cariño que me han entregado ya que sin el cual nunca habría podido llegar hasta donde estoy.

Expreso mi total agradecimiento al Dr. Gilberto González Avalos el cual me apoyo aportando ideas y su apoyo en todo momento.

Les agradezco a todos los profesores que me ayudaron a recorrer este camino especialmente al Dr. Juan Carlos Silva Chávez, una plática corta en un momento inesperado es el motivo de la llegada a este momento no hay palabras para expresar mi gratitud.

Quiero agradecer a mis padrinos Juan Romero, Rubén Rodríguez, Antonio Rodríguez y Dante campos por todo el tiempo dedicado a ayudarme.

Un agradecimiento especial a Everardo Martínez ya que sin su guía y consejo habría sido difícil el camino hoy emprendido, pocos amigos se tienen en la vida y es grato contarlos como uno de ellos.

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a Dios y a mi padre el señor Octavio Trujillo Rangel ya que con su sacrificio ha sido posible la finalización de este reto personal.

Resumen

En la presente tesis se estudia analíticamente por medio de la introducción del sistema de bombas en el análisis del cálculo de la eficiencia de una central termoeléctrica así como de conocer los diferentes tipos de bombas que intervienen en dicho sistema ya que generalmente no se menciona nada sobre este tema debido a que en los análisis este sistema siempre es despreciado sólo en cálculos, ya que en realidad siempre está operando este sistema de bombas en la central termoeléctrica como también conocer un poco sobre los motores y las capacidades que tienen estos para acompañar a estas bombas.

Abstract

In this thesis it is analytically studied by the introduction of the pumps in the analysis of the calculation of the efficiency of a power plant as well as to know the different types of pumps involved in that system because nothing is not usually mentioned on this issue because in the analysis this system is always despised only in calculations, since in reality always is operating this system pumps in the power plant as well know a little about engines and capabilities that have these to accompany these pumps.

Palabras clave: centrifuga, eficiencia, carnot, bomba, ciclo

Contenido

Agradecimientos.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Resumen.....	iv
Lista de figuras.....	vii
Lista de tablas.....	vii
Lista de símbolos y abreviaciones.....	viii

Capítulo 1. Introducción

1.1 Introducción.....	1
1.2 Los sistemas de flujo de una central termoeléctrica.....	3
1.3 Objetivo.....	5
1.4 Justificación.....	5
1.5 Contenido de la tesis.....	6

Capítulo 2. Las centrales termoeléctricas

2.1 Introducción.....	7
2.2 Definición.....	7
2.3 Equipo principal de una central termoeléctrica.....	9
2.4 Las centrales termoeléctricas en México.....	10
2.4.1 Centrales térmicas no convencionales.....	10
2.4.2 Centrales térmicas convencionales.....	12
2.4.2.1 Centrales térmicas a vapor.....	12
2.4.2.2 Centrales térmicas a gas.....	17

Capítulo 3. El sistema de bombas en una central termoeléctrica

3.1 Introducción.....	21
3.2 Clasificación de las bombas.....	22
3.2.1 Tipos de bombas.....	23
3.2.1.1 Bombas de desplazamiento positivo o volumétrico.....	23

3.2.1.2 Bombas de émbolo alternativo.....	23
3.2.1.3 Bombas volumétricas rotativas o rotoestáticas.....	24
3.2.1.4 Bombas rotodinámicas.....	24
3.2.1.5 Tipos de bombas de émbolo.....	25
3.3 El sistema de bombas de una central termoeléctrica.....	31
3.3.1 El rodete de la bomba.....	31
3.3.2 Bombas de agua de circulación.....	33
3.3.3 Bombas de alimentación.....	35
3.3.4 Aplicación de la bomba de alimentación de alta presión.....	37
3.3.5 Bombas para agua de servicios.....	38
3.3.6 Bombas alimentadoras de evaporadores.....	39
3.3.7 Bombas de drenaje de calentador.....	39
3.3.8 Bombas de condensado.....	40
3.3.9 Bombas para la extracción de cenizas.....	43
3.3.10 Bombas de pozo profundo.....	43
3.3.11 Bombas de agua corregida.....	43
 Capítulo 4. Análisis del sistema de bombas en una central termoeléctrica	
4.1 Eficiencia de una central termoeléctrica convencional.....	45
4.2 Análisis de eficiencia termodinámica de una central termoeléctrica.....	47
4.3 Análisis de la central termoeléctrica con vapor seco.....	52
4.4 Análisis de la central termoeléctrica con vapor sobrecalentado.....	55
4.5 Análisis de la central termoeléctrica ante una potencia dada.....	58
 Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones	
5.1 Conclusiones.....	62
5.2 Recomendaciones.....	62
 Bibliografía.....	64

Lista de figuras

Figura 1.1 Ubicación de las plantas termoeléctricas en el país.....	2
Figura 1.2 Esquema elemental de una central termoeléctrica.....	5
Figura 2.1 Transformaciones de la energía en una central termoeléctrica.....	8
Figura 2.2 Equipo principal de una central termoeléctrica.....	10
Figura 3.1 Imagen de una bomba centrífuga real.....	29
Figura 3.2 Clasificación de bombas.....	30
Figura 3.3 La selección de una bomba para alimentación de condensado.....	41
Figura 3.4 Bomba vertical de eliminación de condensado.....	42
Figura 4.1 Diagrama de una central termoeléctrica convencional.....	48
Figura 4.2 Diagrama de presión – temperatura y temperatura – entropía.....	49
Figura 4.3 Diagrama de una central termoeléctrica convencional.....	52
Figura 4.4 Esquema de una central termoeléctrica con datos numéricos.....	59

Lista de tablas

Tabla 5.1 Tabla de relación de flujo de vapor y de la potencia de las bombas	60
--	----

Lista de Símbolos y Abreviaturas

h	= entalpía
h_f	= entalpía del líquido saturado
h_{fg}	= entalpía de vaporización
h_g	= entalpía de vapor saturado seco
GV	= generador de vapor
$\dot{m}_a$	= flujo de líquido saturado
$\dot{m}_v$	= flujo de vapor
MW	= Megawatts
P	= presión
P_E	= potencia eléctrica
q	= calor
s	= entropía
s_f	= entropía del líquido saturado
s_{fg}	= entropía de de vapor saturado seco
seg	= segundo
w	= trabajo
x	= calidad del vapor
η_{tg}	= eficiencia del turbogenerador

Capítulo 1

1.1 Introducción

Una central termoeléctrica es una instalación empleada para la generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada en forma de calor, normalmente mediante la combustión de combustibles fósiles como petróleo, gas natural, o carbón.

Este calor es empleado por un ciclo termodinámico convencional para mover una turbina acoplado a ella un alternador y producir energía eléctrica. Este tipo de generación eléctrica es contaminante ya que genera dióxido de carbono.

Por otro lado, también existen centrales termoeléctricas que emplean fisión nuclear del uranio para producir electricidad. Este tipo de instalación recibe el nombre de central nuclear. Con lo antes dicho podemos clasificar la energía de dos maneras:

1.- Energía primaria: Es aquella que se obtiene directamente de la naturaleza, como lo es el petróleo, el carbón, combustóleo, gas natural etc.

2.-Energía secundaria: Es aquella que ha sido ya industrializada como lo es la gasolina, electricidad etc.

Actualmente, en México existen 23 plantas termoeléctricas, de las cuales el 68.8% de la electricidad que se genera en México es debido a estos procesos termoeléctricos, el 28.8% es de origen hidroeléctrico, el 2.4% restante a otros tipos de generación, como la geotérmica y la eólica.

En la figura 1.1 se muestra la ubicación de cada una de las centrales termoeléctricas dentro del territorio mexicano:

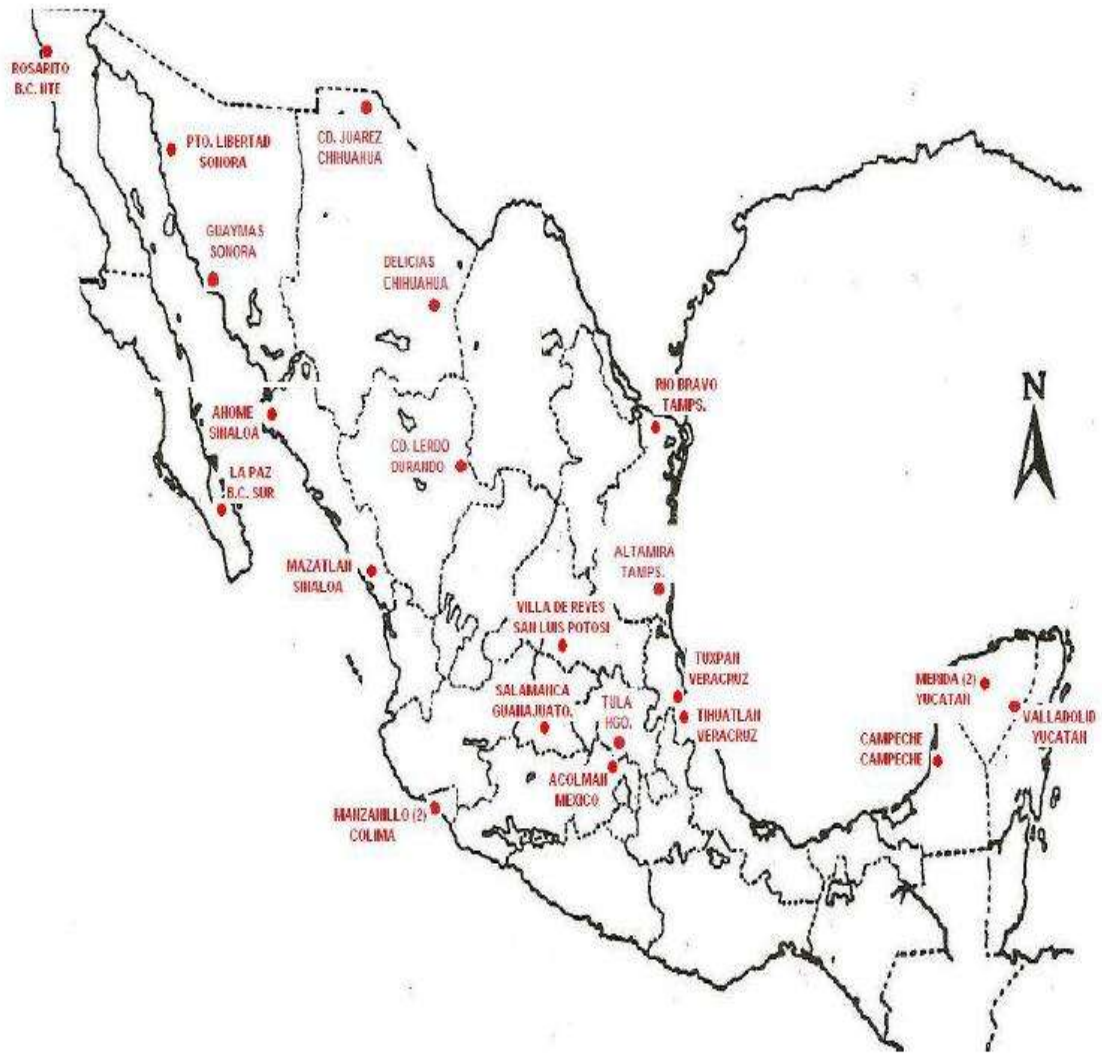


Figura 1.1 Ubicación de las plantas termoeléctricas en el país.

Como se aprecia en el mapa anterior la mayoría de las centrales termoeléctricas se encuentran ubicadas sobre las costas debido a que es más fácil tener acceso al agua para la operación de las mismas.

Algunas de las ventajas con las que cuentan las centrales termoeléctricas, son su costo, debido a la simplicidad con que estas cuentan y sobre todo las de carbón comparándolas con otras de diferente combustible.

Las centrales de ciclo combinado de gas natural son mucho más eficientes que centrales convencionales, aumentando la energía eléctrica generada y por tanto las

ganancias con la misma cantidad de combustible, y rebajando las emisiones contaminantes mas arriba de un 20% que las convencionales.

Las grandes desventajas de este tipo de centrales son el uso de combustibles fósiles ya que estos provocan una gran cantidad de gases de efecto invernadero (emisión de dióxido de carbono), esto provoca que el tipo de energía sea infinita debido a la duración de las reservas.

1.2 Los sistemas de flujo de una central termoeléctrica

Se le llama sistemas de flujo o simplemente sistema a un conjunto formado por equipo y tuberías que manejan un fluido determinado, pudiendo ser agua, vapor gases, combustible etc. a semejanza con los humanos que tenemos un sistema circulatorio ,digestivo respiratorio etc.

Los equipos principales y auxiliares se integran para formar parte de los sistemas de flujo, entre los principales sistemas se tienen:

1. Condensado
2. Agua de alimentación
3. Vapor principal
4. Vapor auxiliar
5. Combustible
6. Aire y gases de combustión
7. Aceite de lubricación y control
8. Aceite de sellos
9. Aire de servicios
10. Aire de instrumentos, etc.

Una central térmica transforma la energía Química de un combustible (gas, carbón, fuel) en energía eléctrica. También se pueden considerar centrales térmicas aquellas que funcionan con energía nuclear. Es una instalación en donde la energía mecánica que se necesita para mover el generador y por tanto para obtener la energía eléctrica, se obtiene a partir del vapor formado al hervir el agua en una caldera. Todas las centrales térmicas

siguen un ciclo de producción de vapor destinado al accionamiento de las turbinas que mueven el rotor del alternador.

Fases:

1. Se emplea como combustible, generalmente, un derivado del petróleo llamado fuel-oil, aunque hay centrales de gas o de carbón. Este combustible se quema en una caldera y el calor generado se transmite a agua.
2. Se calienta el agua líquida que ha sido bombeada hasta un serpentín de calentamiento (sistema de tuberías). El calentamiento de agua se produce gracias a una caldera que obtiene energía de la combustión del combustible (carbón pulverizado, fuel o gas).
3. El agua líquida pasa a transformarse en vapor; este vapor es húmedo y poco energético.
4. Se sobrecalienta el vapor que se vuelve seco, hasta altas temperaturas y presiones.
5. El vapor sobrecalentado pasa por un sistema de conducción y se libera hasta una **turbina**, provocando su movimiento a gran velocidad, es decir, generamos energía mecánica.
6. La turbina está acoplada a un alternador solidariamente que, finalmente, produce la energía eléctrica.
7. En esta etapa final, el vapor se enfría, se condensa y regresa al estado líquido. La instalación donde se produce la condensación se llama **condensador**. El agua líquida forma parte de un circuito cerrado y volverá otra vez a la caldera, previo calentamiento. Para refrigerar el vapor se emplea se recurre a agua de un río o del mar, la cual debe refrigerarse en **torres de refrigeración**.

NOTA: No confundir el vapor del agua que mueve la turbina con el agua que refrigera el vapor. Son dos elementos distintos del proceso. El agua de refrigeración no mueve las turbinas.

La corriente eléctrica se genera a unos 20,000 volts de tensión y se pasa a los transformadores para elevar la tensión hasta unos 40,000 volts, para su traslado hasta los puntos de consumo.

Si la central térmica es de carbón, éste se almacena a medida que llega de la mina y se traslada por medio de una cinta transportadora hasta la tolva, de donde se pasa a un molino en el que se tritura hasta quedar convertido en polvo fino que arde más fácilmente. Tal como se muestra en la figura 1.2, a continuación se mezcla con aire precalentado y se introduce en la caldera.

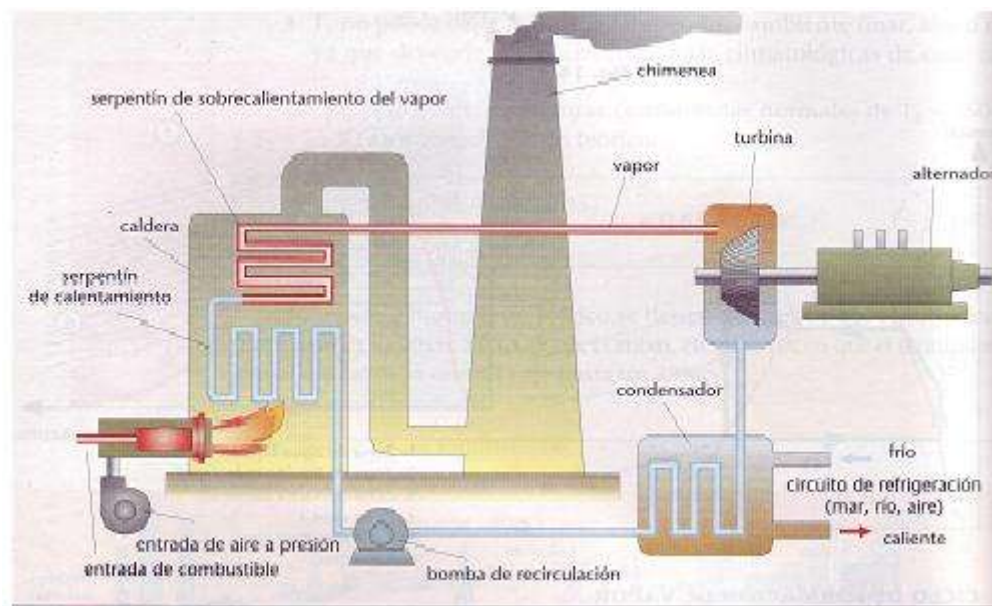


Figura 1.2 Esquema elemental de una central termoeléctrica.

1.3 Objetivo

El objetivo de esta tesis es introducir el sistema de bombas en el análisis del sistema de una central termoeléctrica

1.4 Justificación

El avance de los países va directamente relacionado a la generación y consumo de energía eléctrica. Así mismo, la utilización de equipo eléctrico y electrónico en las actividades diarias ha logrado impactar en un mejor desempeño de estas actividades. Sin embargo, se debe garantizar la distribución eficiente de la energía eléctrica desde la generación hasta el consumo.

Así, en esta tesis se describe y analiza el sistema de bombas de una central termoeléctrica, ya que estas contribuyen, con casi el 70% de la generación de energía eléctrica en este país.

El sistema de bombas es una parte esencial en el funcionamiento de una termoeléctrica, ya que este sistema de bombas permite la retroalimentación del flujo de agua hacia el generador de vapor y fija la presión de operación en este generador de vapor.

1.5 Contenido de la tesis

En el Capítulo 1 se da una breve introducción a este trabajo, se muestra la situación actual las centrales termoeléctricas en México así como su ubicación y la demanda de energía actual en el país.

En el Capítulo 2 se presentan conceptos básicos de las centrales termoeléctricas así como sus equipos principales y sus características.

En el Capítulo 3 se presenta el sistema de bombas de las centrales termoeléctricas así como las principales bombas que interactúan en el proceso del ciclo agua vapor.

En el Capítulo 4 se aborda el sistema de bombas a detalle en los cálculos de una central termoeléctrica.

En el Capítulo 5 se presentan conclusiones generales, aportaciones y trabajos futuros.

Capítulo 2

Las centrales termoeléctricas

2.1 Introducción

Las centrales térmicas son instalaciones que hacen posible una transformación de portadores energéticos en corriente eléctrica o en corriente y calor útil.

La energía eléctrica se produce como resultado de una serie de transformaciones de energía las cuales se realizan dentro de la central, a partir de una energía disponible, que para el caso de las centrales termoeléctricas, es la energía química almacenada en ellas.

El tipo de central se define en función del portador energético utilizado y la energía útil producida.

Los portadores energéticos pueden ser:

- Combustibles fósiles como carbón, derivados del petróleo o gas natural.
- Materias residuales y desechos, como la basura doméstica e industrial y los aceites residuales.
- Energía nuclear.

Pueden diseñarse centrales térmicas para diferentes tipos de combustible a fin de diversificar el material de carga u obtener un mayor rendimiento, como en el caso de las centrales combinadas, con turbina de gas natural y turbina de vapor (generación de vapor con aceite o carbón).

2.2 Definición

Una Central Termoeléctrica es una instalación en donde la energía mecánica que se necesita para mover el rotor del generador y, por tanto, obtener la energía eléctrica, se obtiene a partir del vapor formado al hervir el agua en una caldera.

El vapor generado tiene una gran presión, y se hace llegar a las turbinas para que en su expansión sea capaz de mover los alabes de las mismas.

Una central termoeléctrica clásica se compone de una caldera y de una turbina que mueve el generador eléctrico. La caldera es el elemento fundamental y en ella se produce la combustión del carbón, fuel o gas.

La fuente de energía se encuentra en el combustible según su composición química y se libera haciendo que se produzca una reacción química que en este caso es la combustión.

Al producirse esta se tiene la primera transformación de energía, es decir que la energía química del combustible se transforma en calor en flama y en los gases calientes producto de la combustión.

La combustión se realiza en el hogar de un generador de vapor .si la energía calorífica de los gases se emplea para calentar agua y producir vapor, ya se tiene otra transformación de energía, tendremos así vapor con energía que se llamara térmica.

La energía del vapor se transformará en trabajo mecánico en una turbina de vapor con lo que se tiene otra transformación de energía, finalmente si la turbina esta acoplada a un generador eléctrico se tiene la última transformación de energía y se llega al objetivo : la producción de energía eléctrica. Estas transformaciones de energía se muestran en la figura 2.1.

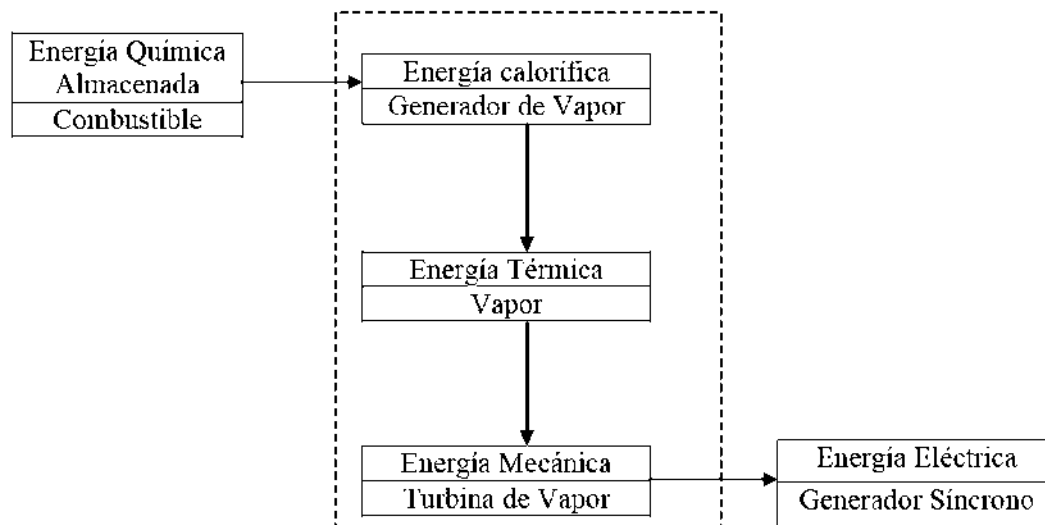


Figura 2.1 Transformaciones de energía en una central termoeléctrica.

Independientemente de cuál sea el combustible fósil que utilicen (fuel-oil, carbón o gas), el esquema de funcionamiento de todas las centrales termoeléctricas clásicas es prácticamente el mismo. Las únicas diferencias consisten en el distinto tratamiento previo que sufre el combustible antes de ser inyectado en la caldera y en el diseño de los quemadores de la misma, que varían según sea el tipo de combustible empleado.

Una central termoeléctrica clásica posee, dentro del propio recinto de la planta, sistemas de almacenamiento del combustible que utiliza (parque de carbón, depósitos de fuel-oil) para asegurar que se dispone permanentemente de una adecuada cantidad de éste. Si se trata de una central termoeléctrica de carbón (hulla, antracita, lignito,...) es previamente triturado en molinos pulverizadores hasta quedar convertido en un polvo muy fino para facilitar su combustión. De los molinos es enviado a la caldera de la central mediante chorro de aire precalentado.

Si es una central termoeléctrica de fuel oil, éste es precalentado para que fluidifique, siendo inyectado posteriormente en quemadores adecuados a este tipo de combustible.

Si es una central termoeléctrica de gas los quemadores están asimismo concebidos especialmente para quemar dicho combustible.

2.3 Equipo principal de una central termoeléctrica

Todo el equipo de una central termoeléctrica es importante, pero de acuerdo a su participación en la obtención de su objetivo se le clasifica como equipo auxiliar, existe una gran variedad de equipo auxiliar entre los que se mencionaran.

Equipo auxiliar de una central termoeléctrica:

- Bomba
- Ventiladores
- Extractores
- Calentadores
- Compresores
- Eyectores
- Tanque
- Enfriadores

El equipo principal de una central termoeléctrica se ilustra en la figura 2.2.

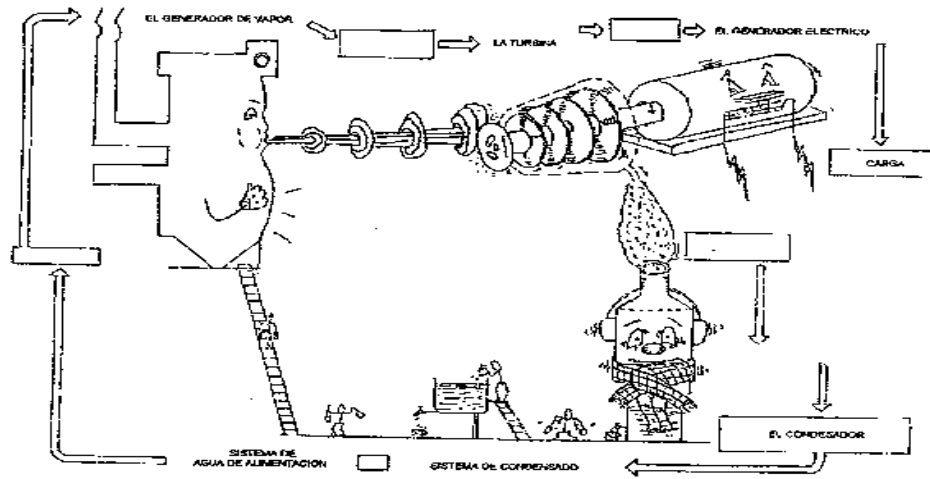


Figura 2.2 Equipo principal de una central termoeléctrica.

2.4 Las centrales termoeléctricas en México.

Las centrales térmicas se clasifican según el origen de la energía que usan en centrales térmicas convencionales y no convencionales.

2.4.1 Centrales térmicas no convencionales.

a) Centrales geotérmicas.

Una central geotérmica son unas instalaciones que aprovecha la energía geotérmica para producir energía eléctrica.

Una central geotérmica no es nada más que una central térmica en la que la caldera ha sido remplazada por el reservorio geotérmico y en la que la energía es suministrada por el calor de la Tierra, en vez del petróleo u otro combustible.

Las plantas geotérmicas aprovechan el calor generado por la tierra. A varios kilómetros de profundidad en tierras volcánicas los geólogos han encontrado cámaras magmáticas, con roca a varios cientos de grados centígrados.

Además en algunos lugares se dan otras condiciones especiales como son capas rocosas porosas impermeables que atrapan agua y vapor de agua a altas temperaturas y presión y que impiden que éstos salgan a la superficie. Si se combinan estas condiciones se produce un yacimiento geotérmico.

Una vez que se dispone de pozos de explotación se extrae el fluido geotérmico que consiste en una combinación de vapor, agua y otros materiales. Éste se conduce hacia la planta geotérmica donde debe ser tratado.

Primero pasa por un separador de donde sale el vapor y la salmuera y líquidos de condensación y arrastre, que es una combinación de agua y materiales. Esta última se envía a pozos de reinyección para que no se agote el yacimiento geotérmico.

El vapor continúa hacia las turbinas que con su rotación mueve un generador que produce energía eléctrica. Después de la turbina el vapor es condensado y enfriado en torres y lagunas.

La energía geotérmica tiene varias ventajas: el flujo de producción de energía es constante a lo largo del año ya que no depende de variaciones estacionales como lluvias, caudales de ríos, etc. Es un complemento ideal para las plantas hidroeléctricas.

El vapor producido por líquidos calientes naturales en sistemas geotérmicos es una alternativa al que se obtiene en plantas de energía por quemado de materia fósil, por fisión nuclear o por otros medios.

Las perforaciones modernas en los sistemas geotérmicos alcanzan reservas de agua y de vapor, calentados por magma mucho más profundo, que se encuentran hasta los 3.000 metros bajo el nivel del mar.

El vapor se purifica en la boca del pozo antes de ser transportado en tubos grandes y aislados hasta las turbinas. La energía térmica puede obtenerse también a partir de géiseres y de grietas.

En algunas zonas de la Tierra, las rocas del subsuelo se encuentran a temperaturas elevadas. La energía almacenada en estas rocas se conoce como energía geotérmica. Para poder extraer esta energía es necesaria la presencia de yacimientos de agua cerca de estas zonas calientes.

La explotación de esta fuente de energía se realiza perforando el suelo y extrayendo el agua caliente. Si su temperatura es suficientemente alta, el agua saldrá en forma de vapor y se podrá aprovechar para accionar una turbina.

2.4.2 Centrales térmicas convencionales

Existen tres tipos de centrales termoeléctricas que funcionan con turbinas:

1. Centrales térmicas a vapor.
2. Centrales térmicas a gas.
3. Centrales térmicas de ciclo combinado.

Todas ellas transforman energía cinética en energía eléctrica. La energía cinética hace girar a las turbinas que están conectadas a un generador, generando así energía eléctrica.

En las centrales térmica a vapor, se utiliza agua en un ciclo cerrado (siempre es la misma agua). El agua se calienta en grandes calderas, usando como combustible el carbón, gas, biomasa, etc. La turbina se mueve debido a la presión del vapor de agua, que mueve a las turbinas y su energía cinética es transformada en electricidad por un generador.

En las centrales térmicas a gas se utiliza una turbina a gas para generar energía eléctrica. Los combustibles utilizados son el gas, petróleo o diesel.

Al juntar estas dos tecnologías, es decir, la turbina a gas y la turbina a vapor, obtenemos una central termoeléctrica de ciclo combinado. La gran ventaja de esta central termoeléctrica es que se aprovecha la energía de los gases de escape de la turbina de gas en la turbina de vapor elevando en forma considerable la eficiencia.

2.4.2.1 Centrales térmicas a vapor.

Las centrales térmicas a vapor utilizan el denominado ciclo Rankine. Un ciclo Rankine en su forma más simple consiste de los siguientes elementos: Caldera, generador de vapor, una turbina a vapor, un condensador, una bomba de alimentación y un generador eléctrico.

La serie de procesos que ocurren en un ciclo Rankine, se pueden resumir en los siguientes pasos:

1. El incremento de presión en el condensador por medio de la bomba de alimentación.
2. Adición de calor en la caldera.
3. El vapor es expandido y enfriado a medida que pasa por la turbina.

El último proceso en el ciclo de Rankine es la condensación del vapor que sale de la turbina.

a) Componentes principales de una planta térmica a vapor

Podemos iniciar el proceso de transformación de energía en una planta a vapor desde la succión de agua por medio de las bombas de condensado, bien desde el pozo caliente del condensador o desde un tanque desaireador independiente, estas bombas envían el agua hasta el tanque de agua de alimentación a través de calentadores regenerativos desde el tanque de agua de alimentación se envía el condensado hasta la caldera por medio de las bombas de alimentación. De acuerdo con el tipo de circulación del agua y vapor en la caldera, esta se puede clasificar como de circulación natural (el agua y el vapor circulan únicamente por diferencia de densidades), o de circulación asistida (mediante bombas conectadas a los cabezales inferiores de las paredes de la caldera).

El vapor a alta presión y temperatura producido en la caldera, es enviado por medio de tuberías debidamente aisladas hasta la turbina de vapor, en esta, el vapor se expande pasando alternativamente entre tapas de alabes y estacionarios y alabes móviles, montados sobre un eje mediante el cual se transmite la potencia al generador eléctrico. En las plantas a vapor se emplea turbinas del tipo condensación con extracciones para calentamiento regenerativo del agua de alimentación. A la entrada de la turbina se colocan válvulas de regulación, precedidas de válvulas de cierre rápido para cortar la entrada de vapor en caso de emergencia y para prevenir la sobre velocidad de la maquina.

La turbina cuenta con un sistema de aceite de lubricación de cojinetes y un sistema generalmente integral con el anterior, el de aceite de control para el posicionamiento de las válvulas en respuesta a señales de carga y protecciones. La regulación de velocidad se efectúa mediante un gobernador hidráulico acoplado al eje de la turbina. Igualmente se

cuenta con un sistema de giro lento, que permite la rotación del rotor previa admisión del vapor a la turbina para evitar la distorsión del mismo por choque térmico y durante su enfriamiento.

Una vez el vapor efectúa el trabajo en la turbina, es direccionado al condensador, que consiste en un intercambiador de calor del tipo superficie en el cual el vapor que sale de la turbina pasa dentro del casco y se recoge en forma de condensado en un pozo caliente colocado en la parte inferior del condensador. Para condensar este vapor, se requiere la circulación de una gran cantidad de agua de enfriamiento, mediante un sistema de agua de circulación, que bombea agua por dentro del banco de tubos del condensador colocado longitudinalmente dentro del casco. Este se encuentra diseñado para trabajar a presiones subatmosféricas y los tubos se disponen en forma de dos mitades independientes de tal forma que pueda operar medio condensador, reduciendo la carga de la unidad, mientras que el otro se encuentra abierto para reparación o mantenimiento. La limpieza de los tubos del condensador se puede efectuar mediante mecanismos manuales, (apertura del condensador), o mediante un sistema de limpieza de bolas, que utiliza bolas de esponja que se hacen circular a presión por el interior de los tubos y recuperadas por medio de rejillas a la salida del condensador. Para crear el vacío manual en el condensador, y contribuir a su mantenimiento durante la operación de la planta, se emplean eyectores o bombas de vacío conectadas al casco del condensador.

Una vez se recoge el condensado en el pozo caliente este es tomado por las bombas de condensado.

El sistema de agua de circulación mencionado anteriormente provee de agua de enfriamiento al condensador y los demás sistemas de la planta. Este sistema puede ser del tipo abierto o cerrado; en el caso del sistema abierto, se cuenta con unas bombas de circulación que toman agua de una fuente exterior- río, laguna, mar, etc. y luego de su paso por el condensador regresa nuevamente a la fuente de suministro. En el caso de los sistemas cerrados se cuenta con una torre de enfriamiento en donde el agua se enfría previo su envío nuevamente por medio de las bombas de circulación, hasta el condensador.

Adicionalmente, se debe contar con un sistema de enfriamiento auxiliar, generalmente cerrado, que provee enfriamiento a diversos componentes mecánicos de la central, tales como cojinetes, intercambiadores de calor, etc.

Una planta termoeléctrica que opera en el ciclo Rankine de vapor de agua, puede utilizar muy diversos combustibles, para la combustión en la caldera, entre otros podemos citar carbón, ACPM, gas natural, fuel-oil, etc. Para el caso de centrales que operan con carbón, se requiere de la disposición de una serie de equipos adicionales a los ya mencionados, que posibilita el manejo de este combustible, entre estas tenemos: el almacenamiento de carbón para uso de la central se hace mediante tolvas elevadas al lado de la caldera, desde donde desciende por gravedad hasta alimentadores del tipo paletas o banda, de allí se dosifica a los pulverizadores-molinos de bolas-, que reducen el tamaño del carbón.

El carbón pulverizado se seca y conduce a los quemadores por medio de corrientes de aire primario inyectado en los molinos y conducido por tuberías hasta los quemadores de la caldera.

El aire para la combustión se suministra por medio de ventiladores de tiro forzado, los cuales toman aire de la atmósfera y lo envían al hogar -zona de combustión-, de la caldera. Entre los ventiladores de tiro forzado y la caldera, se instalan calentadores de aire, para mejorar la eficiencia de la combustión, los cuales extraen parte del calor de los gases calientes a la salida del hogar.

En calderas de carbón pulverizado se utilizan ventiladores de tiro inducido que contribuyen a la extracción de los gases de la caldera manteniendo una ligera presión subatmosférica dentro del hogar enviando los gases a través de un sistema de control ambiental -precipitador electrostático-, hasta la chimenea y posteriormente a la atmósfera.

En las calderas que manejan gas natural, este se toma de los gasoductos existentes y se lleva hasta la planta por medio de tuberías, se reduce su presión por medio de válvulas reductoras de presión y desde allí hasta la caldera donde válvulas reguladoras controlan la presión del gas hasta los valores requeridos por los quemadores de la caldera.

La calidad del agua requerida por la caldera debe ser muy controlada desde el punto de vista químico (valores de pH, conductividad, sólidos disueltos, etc.), para ello se cuenta con una planta desmineralizadora que produce el agua requerida por el proceso, complementada por un sistema de dosificación de químicos que controla aun más el agua que ingresa a la caldera (fosfatos, secuestrante de oxígeno y amina).

Debido a que el proceso de producción de vapor, se tienen pérdidas por radiación, drenajes, purgas, etc., es necesario contar con un sistema de reposición de agua al ciclo de vapor, mediante el suministro permanente del agua requerida por el ciclo desde tanques de almacenamiento, desde donde el agua es bombeada bien sea al pozo caliente del condensador o hasta un tanque de desaireación antes de su ingreso a la caldera.

Adicionalmente a los sistemas mencionados anteriormente, se cuenta con toda una serie de equipos auxiliares tales como sistema de aire comprimido, sistemas de lubricación, de enfriamiento auxiliar, sistemas de ventilación mecánica, aire acondicionado, etc.

b) Eficiencia de una planta térmica a vapor.

El balance energético del proceso ocurrido en un conjunto caldera, condensador, turbina de vapor de una planta térmica bajo el ciclo Rankine, arroja los siguientes resultados, con base en el 100% de la energía entregada por el combustible (datos aproximados):

- Pérdidas en el condensador 42%.
- Pérdidas en la chimenea, perdidas mecánicas y eléctricas 9%.
- Consumo de servicios propios 6%.
- Potencia generada 38 – 40 %.

La eficiencia aproximada de una planta de ciclo Rankine es del orden del 40%, quiere esto decir que de 100 unidades de energía en forma de combustible que ingresan al ciclo, 40 unidades de energía se convierten en trabajo útil (energía eléctrica), el resto son perdidas del ciclo mismo y el consumo propio de los auxiliares requeridos por el proceso.

La eficiencia de un ciclo Rankine está influenciada por la configuración de la planta y las condiciones agua / vapor en el ciclo. Entre las principales variables que influyen la eficiencia del ciclo se cuenta el número de calentadores del agua de alimentación y el uso de recalentadores; En efecto, la adición de un calentador al agua de alimentación a la caldera puede resultar en un aumento de la eficiencia de hasta un 10%; para ello se debe considerar el tamaño de la planta y la justificación económica de adicionar más recalentadores.

Una segunda forma de incrementar la eficiencia del ciclo Rankine, consiste en la adición de recalentadores para el vapor principal, lo que conlleva entre otros beneficios a

obtener un vapor con una mayor calidad y disminuye la posibilidad de tener condensación en las últimas etapas de la turbina, previo al paso por el condensador. Entre más alta sea la presión y temperatura inicial del vapor en el ciclo Rankine, mejor es la eficiencia del ciclo.

2.4.2.2 Centrales térmicas a gas.

En vez de agua, estas centrales utilizan gas, el cual se calienta utilizando diversos combustibles (gas, petróleo o diesel). El resultado de esta combustión es que gases a altas temperaturas movilizan a la turbina, y su energía cinética es transformada en electricidad.

La electricidad que nosotros consumimos, y que se transporta a través de una red de cables, se produce básicamente al transformar la energía cinética en energía eléctrica. Para ello, se utilizan turbinas y generadores. Las turbinas son enormes engranajes que rotan sobre sí mismos una y otra vez, impulsados por una energía externa. Los generadores son aparatos que transforman la energía cinética -de movimiento- de una turbina, en energía eléctrica

a) Turbinas de gas

La evolución de los motores térmicos ha permitido adquirir experiencia suficiente y ha desarrollado los materiales adecuados para poder construir turbinas en las cuales se aprovecha directamente la energía desarrollada en la combustión, almacenada en los gases producidos que se expansionan, de forma parecida que el vapor en las turbinas de vapor sobre las paletas móviles de un rodete. Estos motores, se denominan turbinas de gas.

b) Partes de una turbina de gas

La turbina de gas más sencilla que se puede imaginar es la denominada de ciclo abierto simple, que consta de los siguientes elementos:

- Compresor de aire.
- Cámara de combustión.
- Turbina propiamente dicha.
- Dispositivos auxiliares (lubricación, regulación de la velocidad, alimentación del combustible, de puesta en marcha, etc.).

c) Funcionamiento de una turbina a gas

El aire atmosférico aspirado por el compresor alimenta la cámara de combustión a una presión que puede ser, según el tipo de máquina, de 5 a 8 atmósferas. En la cámara de combustión se inyecta el combustible de forma continua, por medio de una bomba adecuada. La combustión, que se inicia eléctricamente durante el arranque continúa a presión constante, con temperaturas que alcanzan de 650 °C a 750°C. El gas obtenido se expansiona sobre el rotor de la turbina y sobre el rotor del compresor, es decir, que este gas suministra la potencia necesaria para la compresión y la potencia útil en el árbol de la turbina, valiendo esta última solamente un tercio de la potencia total desarrollada.

Se puede citar algunas ventajas de las turbinas de gas sobre las turbinas de vapor; por ejemplo:

- Instalación más compacta y, por lo tanto, menos voluminosa.
- Se necesitan menos dispositivos auxiliares.
- No necesitan condensador.
- No necesitan agua.
- Lubricación más sencilla.
- Fácil control.
- Cimientos más ligeros.
- No precisan chimenea pues el escape está exento de humos.
- Menos relación peso/potencia.

Entre sus inconvenientes pueden citarse el gran consumo específico de combustible.

Debido a las altas temperaturas desarrolladas, necesitan estar construidas de materiales especiales (aceros resistentes a altas temperaturas, constituidos por aleaciones de níquel, cromo y cobalto).

Las turbinas de gas admiten toda clase de combustible; la única condición que hay que tener en cuenta es que la cantidad de cenizas insolubles no exceda de cierto límite. Algunos de estos combustibles y sus posibilidades de aplicación en las turbinas de gas son:

- **Gas natural:** Es un combustible muy bien adaptado a las turbinas de gas. La única condición impuesta es que sea limpio.

- **Petróleo bruto:** En la mayoría de los casos constituye un combustible muy favorable que puede utilizarse sin recalentamiento ni tratamiento previo. Sin embargo, como su composición varía mucho según los lugares de extracción, en cada caso hay que determinar las posibilidades de utilización por medio de análisis adecuados.
- **Gas de altos hornos:** Como la cantidad de polvo de este combustible es, en general muy elevada, hay que instalar un filtro particularmente eficaz antes de su entrada en el compresor.
- **Aceite pesado:** Es un combustible muy conveniente siempre que su cantidad de cenizas sea pequeña.

Algunos tipos de turbinas de gas más utilizados son:

- **Turbinas de gas con regeneración:** Un procedimiento utilizado para mejorar el rendimiento de una turbina de gas consiste en recuperar parte del calor perdido en los gases de escape a alta temperatura. Para ello se utiliza uno o varios regeneradores o intercambiadores de calor entre la salida del compresor y la entrada de la cámara de combustión, calentándose el aire por acción de los gases de escape de la turbina. Estas clases de turbina se construyen para potencias hasta de 8000 kW.
- **Turbinas de gas con refrigeración y regeneración:** También puede aumentarse el rendimiento de la turbina de gas refrigerando el aire de salida del compresor e inyectándolo en otro compresor de alta presión; los intercambiadores trabajan a contracorriente y, por lo general, las turbinas correspondientes son de dos o más ejes y están provistas también de regeneradores. El combustible se quema en 6 cámaras de combustión que descargan directamente en las toberas de la turbina de alta presión. La turbina de baja presión se destina exclusivamente a accionar el compresor de baja presión.
- **Turbinas de gas con refrigeración, regeneración y recalentamiento:** Aún puede aumentarse más el rendimiento de una turbina de gas si, además de la refrigeración del aire del compresor y de la regeneración de la temperatura del

aire que se conduce a la cámara de combustión, se aprovecha el calor de los gases de escape, introduciéndolos en una nueva cámara de combustión a cuya salida accionan una nueva turbina de baja presión. La combinación de la regeneración, recalentamiento e inter refrigeración permite alcanzar rendimientos térmicos reales del orden de 33%.

- **Turbina de gas de ciclo cerrado:** En las turbinas de gas anteriores todas eran de ciclo abierto ya que no había recirculación del agente de transformación en los límites de la central, estando en la entrada y la salida del conjunto abiertas a la atmósfera. Por el contrario, en la turbina de gas de ciclo cerrado se recicla prácticamente todo el agente de transformación (excepto las pérdidas por juntas y alguna adición y extracción por necesidades de recirculación), de forma continua. El calor procedente del calentador de alta temperatura (que sustituye a la cámara de combustión) o de un reactor nuclear se transmite a la turbina; los gases de escape de ésta se refrigeran antes de introducirlos nuevamente en el compresor, a la salida del cual se introducen nuevamente en la cámara de combustión.

En el ciclo cerrado pueden emplearse otros gases, además del aire, como helio, anhídrido carbónico y nitrógeno, lo que representa una especial ventaja con una fuente de calor nuclear. Las otras ventajas del ciclo cerrado son:

- Limpieza del fluido agente.
- Regulación de la presión y de la composición del fluido agente.
- Elevada presión del fluido agente.
- Rendimiento constante para amplias variaciones de carga.

El mayor inconveniente de la turbina de gas de ciclo cerrado es el elevado costo y dimensiones del calentador de alta temperatura. La turbina de ciclo cerrado necesita un pre refrigerador para reducir la temperatura del fluido agente antes de la recompensación.

CAPITULO 3

El sistema de bombas en una central termoeléctrica

3.1 Introducción

Una bomba es una máquina hidráulica generadora que transforma la energía (generalmente energía mecánica) con la que es accionada en energía hidráulica del fluido incompresible que mueve. El fluido incompresible puede ser líquido o una mezcla de líquidos y sólidos como puede ser el hormigón antes de fraguar o la pasta de papel. Al incrementar la energía del fluido, se aumenta su presión, su velocidad o su altura, todas ellas relacionadas según el principio de Bernoulli. En general, una bomba se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud.

Existe una ambigüedad en la utilización del término bomba, ya que generalmente es utilizado para referirse a las máquinas de fluido que transfieren energía, o *bombean* fluidos incompresibles, y por lo tanto no alteran la densidad de su fluido de trabajo, a diferencia de otras máquinas como lo son los compresores, cuyo campo de aplicación es la neumática y no la hidráulica. Pero también es común encontrar el término bomba para referirse a máquinas que *bombean* otro tipo de fluidos, así como lo son las bombas de vacío o las bombas de aire.

La primera bomba conocida fue descrita por Arquímedes y se conoce como tornillo de Arquímedes, descrito por Arquímedes en el siglo III adC, aunque este sistema había sido utilizado anteriormente por Senaquerib, rey de Asiria en el siglo VII adC. En el siglo XII, Al-Jazari describió e ilustró diferentes tipos de bombas, incluyendo bombas reversibles, bombas de doble acción, bombas de vacío, bombas de agua y bombas de desplazamiento positivo.

Los elementos básicos de una planta termoeléctrica son la caldera y el grupo turbogenerador en la caldera se efectúa la transferencia de energía del combustible al vapor

de agua. En la turbina de vapor, se efectúa la transformación de la energía del vapor en energía mecánica que, a su vez, será transformada por el generador de energía eléctrica.

A fin de mejorar el ciclo básico, se conecta un condensador en la descarga de la turbina, incrementando la caída de presión en esta última, con lo cual se logra mayor transferencia de energía. El condensador, además recupera gran parte del agua, ya condensada, que se había suministrado a la caldera. Para mejorar la eficiencia del ciclo, se calienta el agua de alimentación de la caldera con el vapor que se extrae de un paso intermedio de la turbina.

El ciclo de alimentación de agua a la caldera y de condensado requiere un mínimo de tres bombas: la bomba de condensado que envía el agua desde el condensador hasta los calentadores, la bomba de alimentación de agua a la caldera y la bomba de circulación que impulsa el agua fría a través de los tubos del condensador, con lo cual se logra condensar el vapor.

3.2 Clasificación de las bombas

Existen infinidad de formas de clasificación de bombas pero fundamentalmente se pueden dividir en dos grandes grupos:

- **Bombas volumétricas o de desplazamiento positivo:** Entre las que se encuentran por ejemplo las alternativas, rotativas y las neumáticas, pudiendo decir a modo de síntesis que son bombas de pistón, cuyo funcionamiento básico consiste en recorrer un cilindro con un vástago.
- **Bombas dinámicas o de energía cinética:** Fundamentalmente consisten en un rodete que gira acoplado a un motor. Entre ellas se sitúan las regenerativas, las especiales, las periféricas o de turbinas y una de las más importantes, las *centrífugas*.

En todos los tipos de bombas para líquidos deben emplearse medidas para evitar el fenómeno de la cavitación, que es la formación de un vacío que reduce el flujo y daña la

estructura de la bomba. A las bombas empleadas para gases y vapores se las denominan *compresores*.

3.2.1 Tipos de bombas

La principal clasificación de las bombas se realiza atendiendo al principio de funcionamiento en el que se basan:

3.2.1.1 Bombas de desplazamiento positivo o volumétrico

En las que el principio de funcionamiento está basado en la hidrostática, de modo que el aumento de presión se realiza por el empuje de las paredes de las cámaras que varían su volumen. En este tipo de bombas, en cada ciclo el órgano propulsor genera de manera positiva un volumen dado o cilindrada, por lo que también se denominan bombas volumétricas. En caso de poder variar el volumen máximo de la cilindrada se habla de bombas de volumen variable. Si ese volumen no se puede variar, entonces se dice que la bomba es de volumen fijo. A su vez este tipo de bombas pueden subdividirse en:

3.2.1.2 Bombas de émbolo alternativo

En las bombas de desplazamiento positivo existe una relación directa entre el movimiento de los elementos de bombeo y la cantidad de líquido movido.

Existen diversos tipos de bombas de desplazamiento positivo, pero todas suelen constar de una pieza giratoria con una serie de aletas que se mueven en una carcasa muy ajustada.

El líquido queda atrapado en los espacios entre las aletas y pasa a una zona de mayor presión. Un dispositivo corriente de este tipo es la bomba de engranajes, formada por dos ruedas dentadas engranadas entre sí. En este caso, las aletas son los dientes de los engranajes.

En todas estas bombas, el líquido se descarga en una serie de pulsos, y no de forma continua, por lo que hay que tener cuidado para que no aparezcan condiciones de resonancia en los conductos de salida que podrían dañar o destruir la instalación. En las bombas alternativas se colocan con frecuencia cámaras de aire en el conducto de salida para reducir la magnitud de estas pulsaciones y hacer que el flujo sea más uniforme.

En las que existe uno o varios compartimentos fijos, pero de volumen variable, por la acción de un émbolo o de una membrana. En estas máquinas, el movimiento del fluido es discontinuo y los procesos de carga y descarga se realizan por válvulas que abren y cierran alternativamente. Algunos ejemplos de este tipo de bombas son la bomba alternativa de pistón, la bomba rotativa de pistones o la bomba pistones de accionamiento axial.

3.2.1.3 Bombas volumétricas rotativas o rotoestáticas

En las que una masa fluida es confinada en uno o varios compartimentos que se desplazan desde la zona de entrada (de baja presión) hasta la zona de salida (de alta presión) de la máquina. Algunos ejemplos de este tipo de máquinas son la bomba de paletas, la bomba de lóbulos, la bomba de engranajes, la bomba de tornillo o la bomba peristáltica.

3.2.1.4 Bombas rotodinámicas

En las que el principio de funcionamiento está basado en el intercambio de cantidad de movimiento entre la máquina y el fluido, aplicando la hidrodinámica. En este tipo de bombas hay uno o varios rodets con álabes que giran generando un campo de presiones en el fluido. En este tipo de máquinas el flujo del fluido es continuo. Estas turbomáquinas hidráulicas generadoras pueden subdividirse en:

- **Radiales o centrífugas:** Cuando el movimiento del fluido sigue una trayectoria perpendicular al eje del rodete impulsor.
- **Axiales:** Cuando el fluido pasa por los canales de los álabes siguiendo una trayectoria contenida en un cilindro.
- **Diagonales o helicocentrífugas:** Cuando la trayectoria del fluido se realiza en otra dirección entre las anteriores, es decir, en un cono coaxial con el eje del rodete.

Según el tipo de accionamiento:

- Bomba de lóbulos dobles.

- Bomba roto dinámica axial.
- Bomba de engranajes.
- Bomba centrífuga de 5 etapas.
- **Electrobombas.** Genéricamente, son aquellas accionadas por un motor eléctrico, para distinguirlas de las motobombas, habitualmente accionadas por motores de explosión.
- **Bombas neumáticas** que son bombas de desplazamiento positivo en las que la energía de entrada es neumática, normalmente a partir de aire comprimido.
- **Bombas de accionamiento hidráulico**, como la bomba de ariete o la noria.
- **Bombas manuales.** Un tipo de bomba manual es la bomba de balancín.

3.2.1.5 Tipos de bombas de émbolo

a) Bomba aspirante

Bomba aspirante de émbolo alternativo. En una "bomba aspirante", un cilindro que contiene un pistón móvil está conectado con el suministro de agua mediante un tubo. Una válvula bloquea la entrada del tubo al cilindro. La válvula es como una puerta con goznes, que solo se abre hacia arriba, dejando subir, pero no bajar, el agua. Dentro del pistón, hay una segunda válvula que funciona en la misma forma. Cuando se acciona la manivela, el pistón sube. Esto aumenta el volumen existente debajo del pistón y, por lo tanto, la presión disminuye. La presión del aire normal que actúa sobre la superficie del agua, del pozo, hace subir el líquido por el tubo, franqueando la válvula que se abre y lo hace entrar en el cilindro. Cuando el pistón baja, se cierra la primera válvula, y se abre la segunda, que permite que el agua pase a la parte superior del pistón y ocupe el cilindro que está encima de éste. El golpe siguiente hacia arriba hace subir el agua a la espita y, al mismo tiempo, logra que entre más agua en el cilindro, por debajo del pistón. La acción continúa mientras el pistón sube y baja. Una bomba aspirante es de acción limitada, en ciertos sentidos. No puede proporcionar un chorro continuo de líquido ni hacer subir el agua a través de una distancia mayor a 10 m. entre la superficie del pozo y la válvula inferior, ya que la presión

normal del aire sólo puede actuar con fuerza suficiente para mantener una columna de agua de esa altura. Una bomba impelente vence esos obstáculos.

b) Bomba impelente

Bomba impelente de émbolo alternativo. La bomba impelente consiste en un cilindro, un pistón y un caño que baja hasta el depósito de agua. Asimismo, tiene una válvula que deja entrar el agua al cilindro, pero no regresar. No hay válvula en el pistón, que es completamente sólido. Desde el extremo inferior del cilindro sale un segundo tubo que llega hasta una cámara de aire. La entrada a esa cámara es bloqueada por una válvula que deja entrar el agua, pero no salir. Desde el extremo inferior de la cámara de aire, otro caño lleva el agua a un tanque de la azotea o a una manguera.

c) Cebado de bombas rotodinámicas

Para el correcto funcionamiento de las bombas rotodinámicas se necesita que estén llenas de fluido incompresible, es decir, de líquido, ya que en el caso estar llenas de fluido compresible (cualquier gas como el aire) no funcionarían correctamente. El cebado de la bomba consiste en llenar de líquido la tubería de aspiración succión y la carcasa de la bomba, para facilitar la succión de líquido, evitando que queden bolsas de aire en el interior. Al ser necesaria esta operación en las bombas rotodinámicas, se dice que no tienen capacidad autocebante. Sin embargo, las bombas de desplazamiento positivo son autocebantes, es decir, aunque estén llenas de aire son capaces de llenar de fluido el circuito de aspiración. Por otra parte el funcionamiento de una bomba centrífuga en vacío puede estropear el sellado de la bomba debido a una deficiente refrigeración dado que no circula fluido por su interior que ayuda a mejorar la disipación del calor producido por la bomba. Por lo tanto, en instalaciones de bombeo cuyo esquema coincide con el indicado en el esquema adjunto es necesario un sistema adicional para evitar que la bomba se descebe.

Algunos de estos sistemas se enumeran a continuación:

- Se puede construir un orificio en la parte superior de la carcasa de la bomba y arrojar agua sobre el mismo para que la bomba al encenderse esté llena de agua y pueda bombear correctamente. No se trata de un sistema muy eficiente.

- Se puede usar una válvula de pie (sin retorno o unidireccional). Permite el paso del líquido hacia la bomba pero impiden su regreso al depósito una vez se ha apagado la bomba con lo que impide el descebe de la tubería de impulsión. Puede presentar problemas cuando el fluido tiene suciedad que se deposita en el asiento de la bomba disminuyendo su estanqueidad, por otra parte supone una pérdida de carga más o menos importante en la tubería de impulsión por lo que aumenta el riesgo de que se produzca cavitación en la bomba.
- Uso de una bomba de vacío. La bomba de vacío es una bomba de desplazamiento positivo que extrae el aire de la tubería de impulsión y hace que el fluido llegue a la bomba centrífuga y de este modo quede cebada.
- Por último otra posibilidad consiste en instalar la bomba bajo carga, es decir por debajo del nivel del líquido, aunque esta disposición no siempre es posible, a no ser que se instale sumergida, con lo cual la bomba tiene que ser especial.

d) Bomba peristáltica

Una **bomba peristáltica** es un tipo de bomba de desplazamiento positivo usada para bombear una variedad de fluidos. El fluido es contenido dentro de un tubo flexible empotrado dentro de una cubierta circular de la bomba (aunque se han hecho bombas peristálticas lineales). Un rotor con un número de 'rodillos', 'zapatos' o 'limpiadores' unidos a la circunferencia externa comprimen el tubo flexible. Mientras que el rotor da vuelta, la parte del tubo bajo compresión se cierra (o se ocluye) forzando, de esta manera, el fluido a ser bombeado para moverse a través del tubo. Adicionalmente, mientras el tubo se vuelve a abrir a su estado natural después del paso de la leva ('restitución'), el flujo del fluido es inducido a la bomba. Este proceso es llamado peristalsis y es usado en muchos sistemas biológicos como el aparato digestivo.

Las bombas peristálticas son típicamente usadas para bombear fluidos limpios o estériles porque la bomba no puede contaminar el líquido, o para bombear fluidos agresivos porque el fluido no puede contaminar la bomba. Algunas aplicaciones comunes incluyen bombear productos químicos agresivos, mezclas altas en sólidos y otros materiales donde el aislamiento del producto del ambiente, y el ambiente del producto, son críticos.

e) Bomba centrífuga

En este tipo de bombas la energía es comunicada al fluido por un elemento rotativo que imprime al líquido el mismo movimiento de rotación, transformándose luego, parte en energía y parte en presión. El caudal a una determinada velocidad de rotación depende de la resistencia al movimiento en la línea de descarga.

Las bombas centrífugas tienen un rotor de paletas giratorio sumergido en el líquido. El líquido entra en la bomba cerca del eje del rotor, y las paletas lo arrastran hacia sus extremos a alta presión. El rotor también proporciona al líquido una velocidad relativamente alta que puede transformarse en presión en una parte estacionaria de la bomba, conocida como difusor.

En bombas de alta presión pueden emplearse varios rotores en serie, y los difusores posteriores a cada rotor pueden contener aletas de guía para reducir poco a poco la velocidad del líquido.

En las bombas de baja presión, el difusor suele ser un canal en espiral cuya superficie transversal aumenta de forma gradual para reducir la velocidad. El rotor debe ser cebado antes de empezar a funcionar, es decir, debe estar rodeado de líquido cuando se arranca la bomba. Esto puede lograrse colocando una válvula de retención en el conducto de succión, que mantiene el líquido en la bomba cuando el rotor no gira. Si esta válvula pierde, puede ser necesario cebar la bomba introduciendo líquido desde una fuente externa, como el depósito de salida. Por lo general, las bombas centrífugas tienen una válvula en el conducto de salida para controlar el flujo y la presión.

Una bomba centrífuga es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete en energía cinética y potencial requeridas. Aunque la fuerza centrífuga producida depende tanto de la velocidad en la periferia del impulsor como de la densidad del líquido, la energía que se aplica por unidad de masa del líquido es independiente de la densidad del líquido.

Por tanto, en una bomba dada que funcione a cierta velocidad y que maneje un volumen definido de líquido, la energía que se aplica y transfiere al líquido, (en pie-lb/lb de líquido) es la misma para cualquier líquido sin que importe su densidad. Por tanto, la carga o energía de la bomba en pie-lb/lb se debe expresar en pies o en metros y es por eso por lo que se denomina genéricamente como "altura".

Las bombas centrífugas tienen un uso muy extenso en la industria ya que son adecuadas casi para cualquier servicio. Las más comunes son las que están construidas bajo normativa DIN 24255 (en formas e hidráulica) con un único rodete, que abarcan capacidades hasta los 500 M³/h y alturas manométricas hasta los 100 metros con motores eléctricos de velocidad estándar.

Estas bombas se suelen montar horizontales, pero también pueden estar verticales y para alcanzar mayores alturas se fabrican disponiendo varios rodetes sucesivos en un mismo cuerpo de bomba. De esta forma se acumulan las presiones parciales que ofrecen cada uno de ellos. En este caso se habla de bomba multifásica o multietapa, pudiéndose lograr de este modo alturas del orden de los 1200 metros para sistemas de alimentación de calderas. Constituyen no menos del 80 % de la producción mundial de bombas, porque es la más adecuada para manejar más cantidad de líquido que la bomba de desplazamiento positivo.

No hay válvulas en las bombas de tipo centrífugo; el flujo es uniforme y libre de pulsaciones de baja frecuencia. En la figura 3.1 se muestra una bomba centrífuga.



FIG 3.1 Imagen real de una bomba centrífuga.

La clasificación de las bombas se ilustra en el diagrama de llaves de la figura 3.2

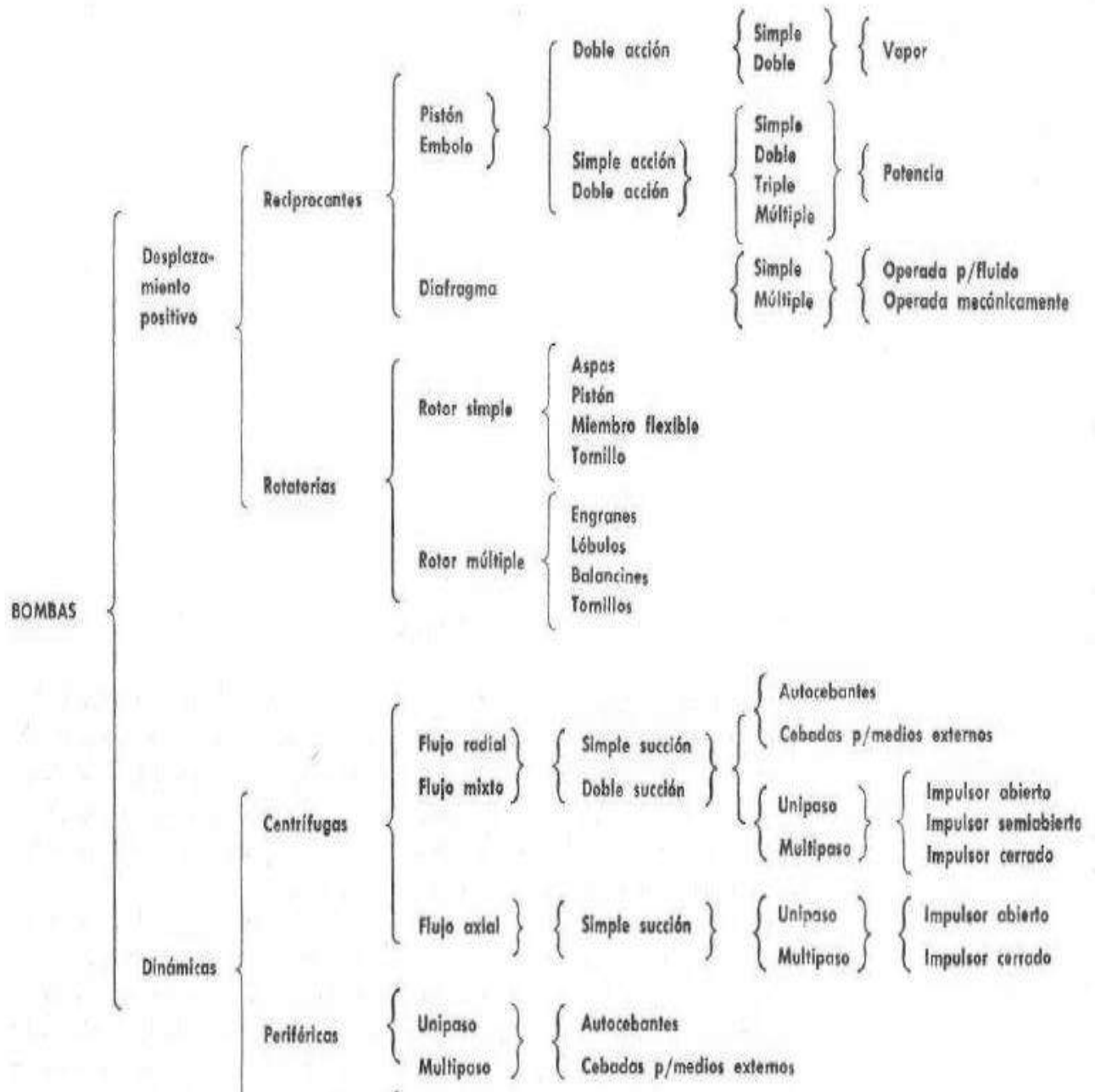


Figura 3.2 Clasificación de bombas

3.3 El sistema de bombas en una central termoeléctrica

Las bombas que se usan en las centrales termoeléctricas caen dentro de las cuatro clasificaciones siguientes:

a) Alta presión y gasto medio

- Bombas alimentadoras de caldera

b) Alta presión y poco gasto

- Bombas alimentadoras de evaporador
- Bombas de drenaje de evaporador

c) Presión y gasto medios

- Bombas de agua de servicio
- Bombas de agua de lavado
- Extractoras de condensado
- Bombas del agua corregida
- Bombas de extracción hidráulica de cenizas

d) Baja presión y gran gasto

- Bombas de agua de circulación

Esta clasificación es relativa, pero sirve para indicar todo el campo de trabajo de las bombas, con la mayoría de ellas en el grupo de presión y gastos medios

3.3.1 El rodete de la bomba

En la práctica industrial de las centrales se suelen emplear tres tipos de impulsor o rodete, a saber: el centrífugo, el de hélice y el de corriente axial.

En la bomba centrífuga el agua se ve obligada a girar dentro de una caja por medio de ruedas con paletas adecuadas. La fuerza centrífuga crea una presión cuya magnitud depende del diámetro del rodete y de su velocidad.

El tipo de bomba de hélice es análoga al de desplazamiento, creando cada pequeña parte del impulsor una un empuje semiaxial, se aconsejan las paletas conductoras para reducir la rotación del líquido y crear la corriente axial.

El tipo de bomba de corriente axial es una combinación de los dos tipos anteriores, aunque la mayor parte del trabajo es realizado por la sección de hélice.

Comparando los tipos de rodetes y sus características. la mejor magnitud de comparación es la llamada velocidad específica del rodete , que se puede definir como la velocidad(RPM) a la que deben funcionar las bombas para entregar un litro de agua por minuto con un altura de elevación de un metro, por la hidráulica se sabe que:

$$Ns = \frac{N\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}}$$

Ns=velocidad específica en RPM

N=velocidad en funcionamiento del rodete en RPM

Q=gasto de la bomba en Litros / minuto

H=altura total de la elevación en metros

La experiencia ha demostrado que la gran altura de presión de la bomba de hélice al cerrar, no es perjudicial, ya que la válvula de descarga puede abrirse tan pronto como se pone en marcha el motor y la considerable altura de presión ayuda a limpiar de gases el condensador, este tipo de bombas no puede usarse con altura de aspiración y es aconsejable un desnivel de o carga en la boca de 0.60 a 1.20m de agua.

Una bomba axial tiene escaso huelgo y esta por lo tanto más afectada por la abrasión, es de diseño más complicado y se usa cuando existe una altura de aspiración y fluctuaciones considerables de nivel.

3.3.1 Bombas de agua de circulación

El análisis de la función de una bomba para el agua de circulación, nos revela que la única altura de presión que hay que vencer es la producida por la resistencia de rozamiento del sistema, pues tanto la boca de aspiración como la de descarga suelen estar sumergidas al mismo nivel.

La altura de rozamiento puede descomponerse del modo siguiente:

1. Rozamiento en las válvulas de toma.
2. Rozamiento en los canales o tuberías.
3. Pérdida de carga a través de válvulas fijas o móviles.
4. Pérdidas de carga a través del conducto de descarga y de las válvulas de entrada al condensador.
5. Pérdidas de carga a través de las cámaras de agua.
6. Máxima altura de velocidad creada por la bomba.
7. Pérdidas de carga por rozamiento en los conductos y tuberías de descarga del conductor.

De las anteriores, las pérdidas totales a través del condensador son las más considerables, las pérdidas de carga a través de las válvulas, raras veces excederán de 75 a 100 mm de agua a máximo régimen. En los canales de toma y en los conductos de descarga de suelen admitir velocidades de 1.20 a 1.80 m/seg. El gasto de una bomba de circulación puede calcularse fácilmente por el balance térmico del condensador:

$$W_c(T_2 - T_1) = (H_s - T_c)W_s$$

W_c =kilogramos de agua que circulan por hora.

T_2 = temperatura media del agua a la salida del condensador en C.

T_1 = temperatura media del agua a la entrada en el condensador en C.

H_s =entalpia del vapor en el escape de la maquina, en Kcal/kg.

T_c =temperatura del condensado en el pozo del condensador en C

W_s =kilogramos de vapor, por hora, que llegan al condensador.

Puesto que el calor cedido por kilogramo de vapor en el condensador es de 556 Kcal y la elevación normal de temperatura del agua de circulación es de 5 a 10 °C serán necesarios de 50 a 100 Kg de agua de circulación, por kilogramo de vapor condensado.

A continuación vamos a indicar la construcción de una típica bomba de circulación. Invariablemente se emplea rodete simple del tipo de doble succión, variando la velocidad de rotación de 100 a 400 RPM. La caja, como en casi todas las bombas centrifugas de construcción americana, se parte horizontalmente a lo largo del eje y es de fundición. Teóricamente no puede darse equilibrio hidráulico en la construcción con succión doble, pero se acostumbra a forjar o encajar en caliente un collarín sobre el árbol en un cojinete para impedir el movimiento axial del rodete.

Además se disponen unos aros de desgaste, adyacentes a los puntos donde el rodete tenga tendencia a rozar con la caja. Los cojinetes del eje suelen ser del típico pedestal con anillos de engrase. En los puntos en que el árbol atraviesa la caja se colocan prensaestopas y juntas laberínticas para evitar filtraciones, siendo las primeras fácilmente desmontables. Se acostumbra a conectar entre sí los dos conductos de aspiración, bien por pasos o huecos a través de la caja o por un tubo externo. El punto superior de la caja deberá tener una conexión para purgar de aire, y en algunas instalaciones se requerirá una tubería auxiliar de cebado, para poner la bomba en marcha.

Considerando que este tipo de bomba se suele destinar para funcionamiento a bajas velocidades y que la altura de presión por rodete es relativamente pequeña (de 3 a 12 m), se pueden alcanzar notables rendimientos. Este punto es de gran importancia, porque la potencia que consume en las bombas del agua de circulación constituye uno de los mayores gastos de potencia auxiliar en las centrales. Diversas casas constructoras importantes presentan bombas de circulación con rendimientos del 85 al 90%.

En las últimas centrales construidas, por razones de economía, se ha procurado disminuir el volumen de la edificación y la superficie de planta. Por consiguiente, se han aplicado bombas de los dos tipos. Estas bombas verticales se pueden colocar en las obras de toma, inmediatamente después de las válvulas de admisión, o dentro de la central, junto al condensador con canales de toma por debajo.

3.3.3 Bombas de alimentación

En gran número de centrales pequeñas y medias dan buen resultado las bombas de émbolo para la alimentación de calderas.

Las primitivas bombas de alimentación se componían de dos cilindros de vapor y dos de agua.

Este tipo de bomba se usa todavía cuando el vapor de escape de la misma puede enviarse para calefacción a una central destinada a este fin o para calentar el agua de alimentación en una pequeña central de fuerza. Se han hecho numerosos adelantos.

Las mejoras principales son:

- Camisa de cilindro fácil de renovar.
- Empaquetaduras exteriores, tanto en el extremo de vapor como en el de agua.
- Mejores características de la corriente líquida.

Esta bomba no es aconsejable a menos que se utilice su vapor de escape porque consume vapor en toda la carrera, usando solo la energía que contiene el vapor en forma de presión.

Un tipo más moderno es el de la bomba de émbolo movida por un motor. El extremo del motor está compuesto por un piñón y rueda dentada con relación 4:1.

La caja del engranaje está totalmente cerrada y lleva cierta cantidad de aceite. Este modelo se ha usado en algunas centrales de alta presión. Elimina el tener que disponer del vapor de escape y tiene un elevado rendimiento volumétrico.

El trabajo de una bomba de alimentación consiste en inyectar en la caldera el condensado que recibe de un calentador de desaireación en el sistema de alimentación abierta, o bien el agua de un tanque o de una bomba secundaria en el sistema cerrado de alimentación, venciendo diversas resistencias. Los diversos factores que intervienen en la presión que debe vencer la bomba de alimentación pueden enumerarse así:

1. Presión en el tubo de aspiración (positiva pero necesaria por la temperatura del agua y la tendencia a la cavitación).
2. Diferencia estática de alturas entre la entrada a la caldera y el eje de descarga de la bomba.
3. Rozamiento en la tubería de alimentación.

4. Pérdida de carga en uno o más calentadores de alta presión.
5. Pérdida de carga en el regulador de alimentación y en las válvulas de sobrepresión.
6. Pérdida de carga en el economizador.
7. Presión interior de la caldera.

Como es de suponer el valor más alto es el último, o sea la presión de la caldera, que habrá de vencer para tener acceso a la misma. Según el tipo de central y del regulador de alimentación, este último necesitará de 3.5 a 14 kg/cm². Así mismo la presión a vencer aumenta a medida que el gasto de la bomba se reduce. Las pérdidas de presión en el economizador y en los calentadores de alta presión varía aproximadamente como el cuadrado de la variación del gasto de la bomba. Por ejemplo, si la pérdida de carga a través de los colectores y tubos del economizador vale 3 m. de columna de agua al régimen de 750 litros por minuto, valdrá 12 m cuando el régimen sea de 1500 litros por minuto. Los constructores suelen suministrar datos sobre las pérdidas de carga en el economizador. Las pérdidas de presión en los calentadores de alta presión, que se componen del rozamiento en el tubo y de las pérdidas en la cámara de agua, suelen estar comprendidas entre los tres y los seis metros de columna de agua a régimen máximo, y en general suelen venir indicadas por los constructores del equipo.

Puesto que la bomba de alimentación deberá trabajar con agua caliente, es aconsejable calcular las pérdidas por rozamiento en la tubería de descarga y en los metros de tubería equivalentes a otras resistencias, por medio del índice de Reynolds, teniendo en cuenta la viscosidad del agua caliente. El exceso de presión que la bomba deberá mantenerse sobre la presión de la caldera, varía según la presión de ésta. En una central de 28 kg/cm² se necesitará en la entrega de la bomba una presión de 39 a 42 kg/cm². Para una presión de 42 kg/cm² en la caldera, la bomba nos deberá dar de 52 a 56 kg/cm², y de 145 a 162 kg/cm² para una presión en la caldera de 105 kg/cm².

El proyecto satisfactorio de una bomba de alimentación de baja presión, o incluso hasta de 40 a 50 kg/cm², es relativamente simple, pero el problema se complica al combinar altas presiones y elevadas temperaturas.

En un ciclo cerrado de alimentación, la bomba extraerá del condensado o una bomba de refuerzo, descarga el condensado con una presión de 7 a 14 kg/cm² en la tubería

de aspiración de la bomba alimentadora. Los prensaestopas de laberinto con pequeña velocidad de flujo bastan en general para mantener el mínimo estado de goteo. Éste no debe ser mayor que el que se tendría con un prensaestopas de aros lisos, pero debe tener un huelgo dos o tres veces mayor. Puesto que no queda a la vista, la pérdida por los prensaestopas entre escalones a presiones de 25 a 30 kg/cm², es un problema más serio que el de los prensaestopas del árbol.

Al considerar la característica ascensional de presión de una bomba alimentadora y la rápida caída de la presión en el sistema con cargas parciales, se hace evidente el interés de regular la velocidad. La elevación de presión al cortar puede ser realmente del 15 al 20%. El coste del accionamiento con motores Costlier de anillos y regulador de velocidad o con motores Rossman de velocidad variable, o con motor síncrono y cambio hidráulico de velocidad, está justificado en una central de muy alta presión.

La capacidad o gasto de la bomba alimentadora se suele determinar por un balance térmico en el que se indican los flujos de salida y entrada en el equipo pesado. Es obvio que la bomba debe ser capaz de proporcionar agua suficiente a la caldera para mantener la máxima producción. Más fundamental: la potencia de la máquina determina tanto la capacidad de la caldera como la de la bomba de alimentación que mueve.

La presión que debe desarrollar una bomba alimentadora es tan grande que usualmente se requieren varios escalones, y para desarrollar esta presión hay que recurrir a elevadas velocidades de rotación de 1200 a 3000 R.P.M.

3.3.4 Aplicaciones de la bomba de alimentación de alta presión.

Existe una tendencia amontar una bomba de alimentación por unidad de turbogenerador cuando se estudia una central termoeléctrica. También cuando se dispone de dos fuentes de energía por lo que hace referencia al suministro eléctrico, sólo se toman en consideración bombas accionadas por motor eléctrico. Por lo menos deben instalarse dos bombas de capacidad suficiente para la plena carga de la turbina principal de vapor.

Para la central de generador y caldera única sin conexiones transversales resulta económica la aplicación de un acoplamiento reductor de velocidad. En los tiempos presentes se usan se utilizan corrientemente las de 3600 RPM para el funcionamiento de

bombas de alimentación de calderas. Se puede disponer de los acoplamientos hidráulicos para reductores de velocidad que construye American Power Corporation. Puesto que la bomba debe funcionar para vencer en todo momento la presión de la caldera, en general todo lo mas que se necesita es una reducción de un 20% en la velocidad.

Las bombas de alimentación de calderas se construyen en general con palas curvadas contra el sentido de giro en los rotores. Por consiguiente, las curvas características de las bombas y ventiladores centrífugos son similares.

3.3.5 Bombas para agua de servicios

En una central se suele necesitar agua usual o de servicios para varios usos. El agua nos la proporcionará la descarga de la bomba de circulación o la obtendremos por la aspiración directa del túnel de toma.

Los siguientes son algunos de los servicios que requieren agua:

1. Refrigerador del aire o del hidrogeno para los alternadores.
2. Refrigeradores del aceite de la turbina principal.
3. Refrigeradores de los cojinetes de ventiladores y acoplamientos.
4. Refrigeradores de los cojinetes de la bomba alimentadora y del aceite.
5. Agua refrigeradora del eje de la parrilla mecánica y de los cojinetes del triturador.
6. Lubricación de los cojinetes de la bomba de circulación
7. Compresor de aire, camisa de cilindro y refrigeración intermedia.

Para los servicios enumerados se dispone de una bomba de servicio en las pequeñas instalaciones, más tratándose de unidades de gran potencia se suelen usar bombas independientes para las necesidades de la refrigeración del aceite y del hidrógeno.

El agua debería depurarse a través de un filtro que pueda limpiarse en funcionamiento a fin de evitar la obturación de los tubos de pequeño diámetro en los recuperadores de calor.

En algunas centrales que toman agua de río esta se deberá depurar antes de usarla para refrigerar cojinetes. La refrigeración de estos y otros anexos requieren bombas con una

presión total de 30 a 45 m, pero si además se añaden servicios de limpieza de tamices y cloración del agua, la altura de presión necesaria puede llegar hasta los 75 m.

Puesto que ni la presión ni el gasto de estas bombas son excesivos, se suelen construir de doble aspiración y escalón único, para acoplar directamente a motor. Si se requiere mayor altura de presión es satisfactorio el empleo de una bomba espiral de dos escalones. Las cajas son de fundición, en los árboles de acero y los rodetes de bronce. Los rendimientos oscilan entre el 70 y el 80 % y sus curvas características son semejantes a las de una bomba de alimentación.

3.3.6 Bombas alimentadoras de evaporadores

La mayoría de centrales emplean evaporadores para suministrar agua destilada al ciclo alimentador de la caldera. Los evaporadores suelen trabajar a presiones hasta 7.5 Kg/cm² con vapor de extracción o directo, condensándose el vapor a baja presión en los calentadores de extracción, también de baja presión. El agua bruta se envía al evaporador por una bomba, regulada por un flotador, es decir, por el nivel del agua en el evaporador.

La cantidad de agua de toma puede variar del 2 al 5%, según sean las pérdidas de vapor y de condensado. Las cifras más bajas se consiguen en los ciclos de centrales en los que el vapor sólo se utiliza para la obtención de potencia. Así la capacidad de la bomba alimentadora del evaporador se establece por la capacidad de este último. La presión que debe vencer la bomba ligeramente superior a la existente en el evaporador, considerando, que desde luego la presión en el lado de aspiración y las pérdidas de carga en tuberías y accesorios. Las bombas de evaporadores no suelen requerir más de un escalón y corrientemente van accionadas por motores de velocidad constante.

3.3.7 Bombas de drenaje de calentador

Para mejorar la economía del ciclo de alimentación se recurrió al recalentamiento y a la regeneración. En América, el número de escalones de regeneración excede raras veces de seis y la mayoría de las instalaciones no cuentan con más de cuatro. El calentador de

más baja presión descarga normalmente su condensado en el condensador principal, y el segundo calentador es en casi todas las instalaciones un calentador de desaireación. Por tanto, la bomba de alimentación de la caldera aspira del calentador de desaireación y descarga de la caldera atravesando uno o más calentadores de alta presión.

Ha resultado económico pasar el condensado del cuarto calentador al tercero y luego impulsar la mezcla de condensados a la aspiración de la bomba alimentadora. En seguida se advierte que el servicio es dificultoso, ya que la altura de presión es casi igual a la de la bomba del pozo de condensación. Por otra parte, la cantidad de extracción para cualquier calentador individual pocas veces excede del 10% de la cantidad de vapor que fluye por la turbina en el punto de extracción. En el caso de una turbina de 50000 Kw, el drenaje combinado de dos calentadores de extracción puede llegar a 450 litro por minuto, pero la presión se encontrara entre 14 y 28 Kg/cm², según la presión de la caldera; deduciéndose de lo dicho que necesitaremos una bomba de pequeño gasto y alta presión.

Para este servicio es satisfactoria la bomba centrífuga de varios escalones y de diseño semejante al de la bomba ordinaria para la succión del condensado del condensador principal. Deberá ser capaz, en general, de funcionar contra la presión creada por la bomba del pozo de condensación, prácticamente en las condiciones de corte. La capacidad quedará determinada por la máxima extracción correspondiente a la carga máxima a mantener en la turbina. Suele ser accionada por motor de velocidad constante.

3.3.8 Bombas de condensado

El fin de estas bombas consiste en aspirar el condensado del pozo del condensador principal y entregarlo al sistema alimentado. Si se emplea un sistema de tipo abierto, la bomba entregará el agua condensada a través de eyectores de chorro de vapor y del calentador de baja presión al calentador abierto o de desaireación. En un sistema de alimentación cerrado entregará el agua a la aspiración de bomba alimentadora.

La presión que debe desarrollar una bomba de condensado, en un sistema alimentación de tipo abierto, puede descomponerse de la manera siguiente:

1. Presión de aspiración (aproximadamente 10m).
2. Pérdida de carga en el eyector de vapor.
3. Pérdida de carga en el calentador de baja presión.
4. Pérdidas por rozamiento en tuberías y accesorios.
5. Desnivel estático ente el eje de descarga de la bomba y la entrada del calentador.
6. Presión existente en el calentador de desaireación .

Las pérdidas de carga en el eyector y en el calentador de baja presión las dan las casas constructoras, y la pérdida en las tuberías pueden calcularse.

La cantidad de agua que se debe extraer del condensador se determina generalmente por el balance térmico, y es igual al flujo de admisión de la turbina deducidas las extracciones. Ordinariamente la altura de elevación variará de 38 a 120 metros y la bomba constará de uno o dos escalones. Las bombas de los pozos de condensado difieren de las centrifugas corrientes en que la altura de aspiración es alta y debe darse una tolerancia considerable para que haya paso holgado del agua a baja velocidad hasta la bomba.

La bomba debe purgarse de aire a través de la parte superior de la caja de descarga hacia el condensador, en un punto sobre el nivel de agua del interior de descarga hacia el condensador, en un punto sobre el nivel de agua del interior.

Una bomba de condensado bien proyectada nos dará un rendimiento del 70 al 75 % en las condiciones del régimen. En la figura 3.3 se ilustra una bomba de alimentación de condensado.

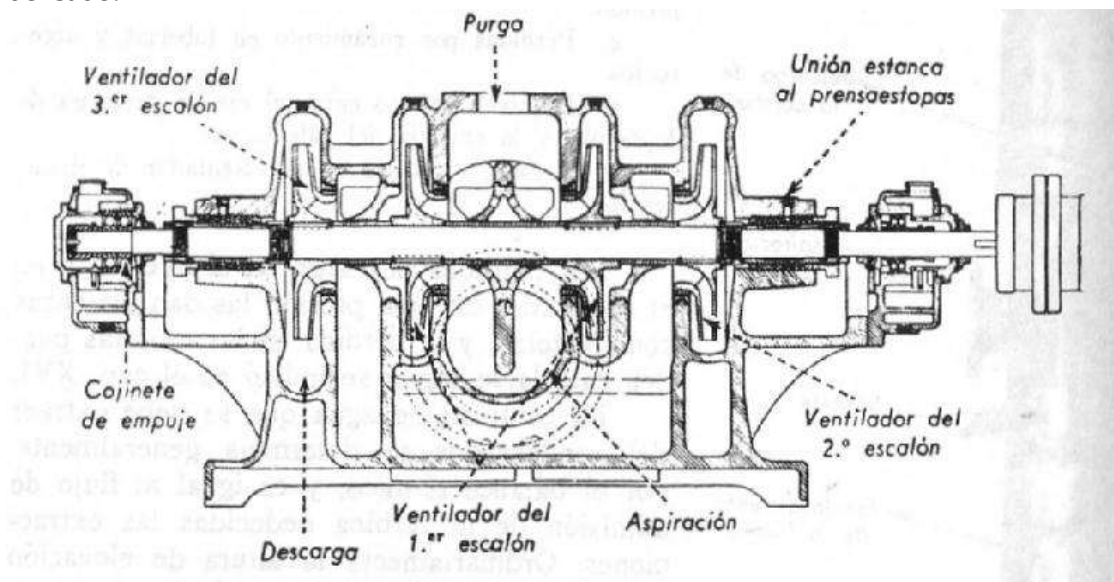


Figura 3.3 La sección de una bomba para alimentación de condensado

El tubo de aspiración es de gran diámetro lleva impulsores dobles del primer escalón la corriente dividida pasa entonces a través de pasos a los impulsores del segundo escalón. Las uniones de descarga de estos últimos se unen por el exterior. También se observará que los prensa estopas en la aspiración de los impulsores del segundo escalón se hallan sometidos a la presión de la descarga. Además, el agua de cierre del condensado exterior puede conectarse a los prensaestopas a ambos extremos del eje.

Un desarrollo más reciente es la aplicación de la bomba vertical de escalones múltiples para la extracción de condensado. Los puntos que presenta a su favor son:

- Un espacio ocupado mínimo.
- La aspiración queda a nivel inferior que el piso.
- Adecuado para vencer una presión elevada en el circuito de descarga.
- Fácilmente desplazable en dirección vertical.

En la figura 3.4 se muestra una típica bomba vertical de este tipo. Debe observarse la disposición compacta de la unidad. Resulta particularmente adecuada cuando no es deseable disponer de un pozo debajo del piso de la fundación.

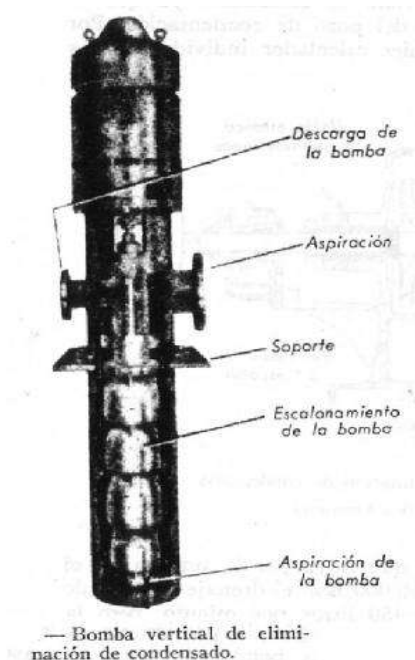


Figura 3.4 bomba vertical de eliminación de condensado.

3.3.9 Bomba para la extracción de cenizas

La eliminación de cenizas en los hogares escorificantes difiere completamente del manejo ordinario de las cenizas secas. La escoria se desintegra y se trasporta por flotación, con la ayuda de potentes chorros de aguas, hasta un sumidero. El sumidero se agota con la bomba de cenizas, que extrae las partículas abrasivas y las envía al vertedero. Se comprende sin esfuerzo que una bomba de construcción ordinaria no sirve para esto.

3.3.10 Bombas de pozo profundo

Esta es una clase especial de bombas de tipo vertical de varios escalones equipado con una reja de admisión en el extremo inferior de la columna. En estos puntos en que el agua es escasa, es decir, en las regiones del sudoeste de EU, es costumbre utilizar torres de enfriamiento. Estas torres suministran el agua de reposición a dichas torres. En otros lugares suministran agua para instalaciones sanitarias, agua potable y agua para reposición de la consumida por la caldera.

El agua de pozo es dura, pero representa un agua de consistencia relativamente constante. El tubo de la bomba puede alcanzar de 15 a 100 m de profundidad. Se prefieren cojinetes refrigerados por agua para el funcionamiento de la central termoeléctrica. El proyecto y la forma de la reja inferior debe observarse. Ha de retener la arena y la grava, pero ha de dejar penetrar el agua en cantidad suficiente para la capacidad deseada. Se necesita explorar para determinar la capacidad disponible, profundidad de la capa de agua y distancia conveniente entre pozos cuando se necesitan varias bombas.

3.3.11 Bombas de agua corregida

En muchas instalaciones el agua que ha de reparar las pérdidas en el ciclo de alimentación se toma de un río o un lago. Esta agua se hace pasar por un filtro de arena y luego se procede a su corrección, a continuación se guarda en depósitos, generalmente situados en la planta baja de la central. En las centrales pequeñas, donde no se usa depósito

exterior, las bombas extraen el agua de esos tanques a medida que vaya haciendo falta y la llevarán a un calentador cerrado o abierto con regulación de nivel.

En las centrales mayores, con tanques elevados, las bombas elevan el agua de 30 a 45 m sobre el nivel del suelo y el agua requerida fluye desde allí hasta los calentadores con regulador de nivel. Suelen ser estas bombas de uno o dos escalones y la presión que deben vencer dependen en gran manera de la diferencia de alturas entre el eje de la descarga y el nivel más alto del agua en el tanque exterior o calentador, habiéndose de tener en cuenta también el rozamiento en tuberías y accesorios. La capacidad de tales bombas depende del porcentaje de agua corregida que necesite el ciclo de alimentación que en general será un 5% en adelante. Estas bombas accionadas generalmente por motores de velocidad constante, tienen un rendimiento hidráulico del 60 al 70%.

Capítulo 4

Análisis del sistema de bombas en una central termoeléctrica

Las centrales termoeléctricas generan electricidad a partir de un ciclo termodinámico, pero mediante fuentes energéticas distintas de los combustibles fósiles empleados en la producción de energía eléctrica desde hace décadas y sobre todo, con tecnologías diferentes. En este caso nos centraremos en el sistema de bombas en las centrales termoeléctricas convencionales o clásicas. El esquema básico de funcionamiento de todas las centrales termoeléctricas es prácticamente el mismo, independientemente de que utilicen carbón, fuelóleo o gas. Las únicas diferencias sustanciales consisten en el distinto tratamiento previo que sufre el combustible antes de ser inyectado en la caldera y el diseño de los quemadores de la misma, que varía según el tipo de combustible empleado

4.1 Eficiencia de una central termoeléctrica convencional

La eficiencia de cualquier máquina o proceso se define como el cociente de la energía útil de salida, a la energía de entrada. En el caso de una planta termoeléctrica es la relación de la energía eléctrica a la energía química almacenada en el combustible que se libera al quemarse este sin embargo, la eficiencia puede definirse desde diferentes ángulos y en las centrales termoeléctricas se pueden tener las siguientes:

$$\text{Eficiencia} \left\{ \begin{array}{ll} \text{Termodinámica} & ; \quad n_t = w_t / Q \\ \text{Global} & ; \quad n_G = w_t * POT / \dot{Q} \\ \text{Neta} & ; \quad n_N = POT * n_{tg} / \dot{Q} \end{array} \right.$$

a) Eficiencia termodinámica

Es la capacidad de un sistema de no convertir tanta energía en calor en vez de fuerza, donde viene expresada la siguiente ecuación:

$$n_t = w_t / Q \quad (4.1)$$

Donde:

Wt= Es el trabajo útil.

Q= Es el trabajo o energía entregada al sistema.

b) Eficiencia global

Es la capacidad de todo sistema de la central termoeléctrica considerando la eficiencia termodinámica, así como también la potencia generada por el turbogenerador donde viene expresada por la siguiente ecuación:

$$n_G = POT / \dot{Q} \quad (4.2)$$

Donde:

$\dot{Q}$ = Es el calor generado por el flujo de vapor proveniente de las turbinas.

Pot = es el trabajo generado por el flujo de vapor del turbogenerador.

c) Eficiencia Neta.

Es la capacidad de todo sistema de la central termoeléctrica, considerando la potencia del turbogenerador por la eficiencia del mismo entre el calor de todo el sistema, donde viene expresada por la siguiente ecuación:

$$n_N = POT * n_{tg} / \dot{Q} \quad (4.3)$$

Donde:

n_{tg} = es la eficiencia del turbogenerador.

$\dot{Q}$ = Es el calor generado por el flujo de vapor proveniente de las turbinas.

Pot = es el trabajo generado por el flujo de vapor del turbogenerador.

4.2 Análisis de la eficiencia termodinámica de una central termoeléctrica

La planta de generación de vapor ideal se puede analizar mediante el ciclo Rankine. En la figura 4.1 se muestra el diagrama que corresponde a una central termoeléctrica para

una fácil comprensión y se puedan identificar las presiones y temperaturas con mayor facilidad.

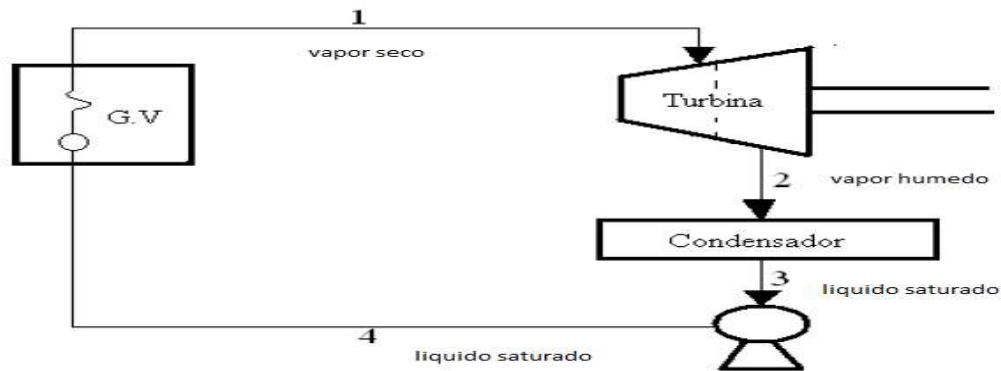


Figura 4.1 Diagrama de una central termoeléctrica convencional

El ciclo de las turbinas corresponde al ciclo Rankine y es la aplicación tecnológica del ciclo de Carnot para el caso de que el fluido motor sea un fluido condensable y durante su evolución se produzcan cambios de fase.

En el diagrama 4.2 se muestran los diagramas de presión volumen y temperatura entropía.

El vapor saturado por la caldera a una presión P_1 es suministrado a la turbina, en donde se expande isoentrópicamente hasta la presión P_2 , en el condensador se transforma el vapor húmedo isobárica a isotérmicamente, el líquido saturado, mediante la remoción de calor.

Puesto que la presión $P_2=P_3$ es mucho menor que la presión del vapor en la caldera $P_4=P_1$, un líquido saturado mediante la remoción de calor se bombea isoentrópicamente hasta alcanzar la presión P_4 .

El líquido comprimido es suministrado a la caldera, en donde se calienta primero hasta su temperatura de saturación correspondiente a la presión P_1 , y luego se evapora hasta transformarse en vapor saturado seco para terminar su ciclo.

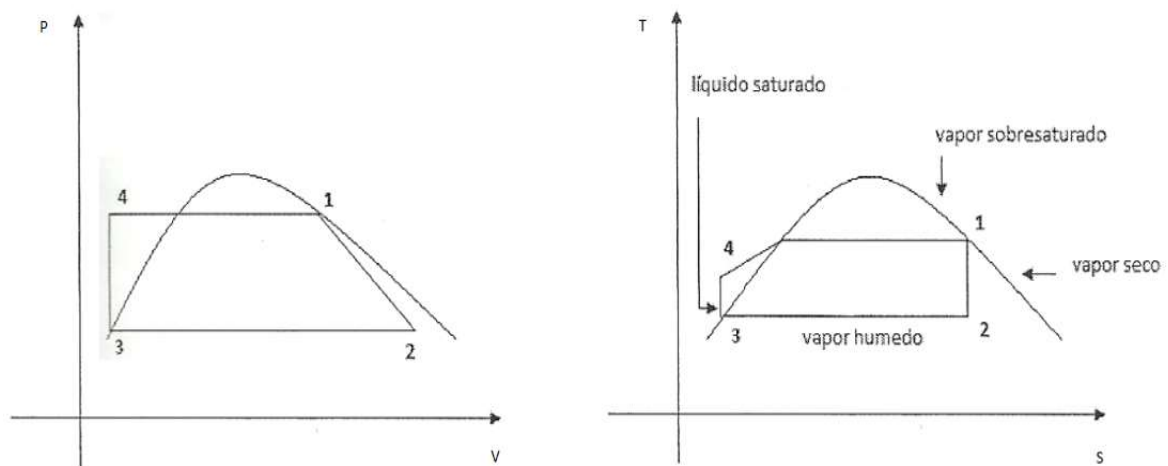


Figura 4.2 Diagramas de Presión-Temperatura y Temperatura-Entropía.

Relacionando la figura 4.1 con el diagrama de la 4.2 podemos expresar de manera resumida lo siguiente:

- 1-2 $\longrightarrow$ Proceso isoentrópico en la turbina $S_1=S_2$
- 2-3 $\longrightarrow$ Proceso isobárico e isotérmico, $P_2=P_3$; $T_2=T_3$
- 3-4 $\longrightarrow$ Proceso isoentrópico y volumen constante, $S_3=S_4$
- 4-1 $\longrightarrow$ Proceso isobárico, $P_4=P_1$

La eficiencia del ciclo Rankine ideal, puede obtenerse de la definición original de eficiencia.

$$e = \frac{w_t}{q} \quad (4.4)$$

Donde:

W_t = Es el trabajo útil.

Q = Es el trabajo o energía entregada al sistema.

El trabajo desarrollado por la turbina, despreciando diferencias de energía cinética y potencial es:

$$W_t = h_1 - h_2 \quad (4.5)$$

El trabajo que requiere la bomba es:

$$W_b = h_4 - h_3 \quad (4.6)$$

El trabajo neto es:

$$W_n = W_t - W_b \quad (4.7)$$

Por otro lado, la energía por unidad de masa que toma el agua en el generador de vapor es:

$$Q = h_1 - h_4 \quad (4.8)$$

Entonces la diferencia será:

$$e = \frac{W_n}{Q} = \frac{W_t - W_b}{Q} \quad (4.9)$$

$$e = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{(h_1 - h_4)} \quad (4.10)$$

La diferencia de entalpía en el proceso isoentrópico 3-4 (bomba) puede calcularse mediante la expresión:

$$W_b = h_4 - h_3 = \int_3^4 v dp = v_3(p_4 - p_3) \quad (4.11)$$

Esto considerando incomprensible al líquido. El trabajo requerido por la bomba es generalmente muy pequeño comparado con el trabajo desarrollado por la turbina:

$$W_t \ll W_b \quad (4.12)$$

De manera que la ecuación se simplifica de la siguiente manera:

$$e = \frac{(h_1 - h_2)}{(h_1 - h_4)} \quad (4.13)$$

Donde en esta parte siempre se desprecia el trabajo de la bomba donde para nuestro caso de análisis será tomada en cuenta de la ecuación:

$$W_b = h_4 - h_3 = \int_3^4 v dp = v_3(p_4 - p_3) \quad (4.11)$$

Donde será tomada en cuenta en análisis posteriores el análisis del sistema de bombas quedando nuevamente la ecuación sin despreciar el sistema la ecuación quedara nuevamente:

$$e = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{(h_1 - h_4)} \quad (4.14)$$

La eficiencia térmica del ciclo puede aumentarse si se incrementa la entalpia del vapor suministrado a la turbina. Dicha entalpia puede incrementarse aumentando la temperatura de vapor en la caldera.

Por otra parte, la potencia que entrega la central termoeléctrica viene dada por la siguiente expresión:

$$Pot = m_v n_{tg} \Delta h \quad (4.15)$$

Donde

m_v = Es el flujo de vapor.

n_{tg} = Es la eficiencia del generador.

Δh = Es el gradiente entálpico en la turbina.

A continuación se plantea una serie de problemas, donde se ejemplifican los conceptos anteriores.

4.3 Análisis de la central termoeléctrica con vapor seco

Se tiene una planta termoeléctrica convencional la cual se muestra en la figura 4.3 en la que el vapor entra en la turbina, seco y una presión de 30 Bar, la presión en el condensador es de 0.075 Bar. Calcular la eficiencia del ciclo.

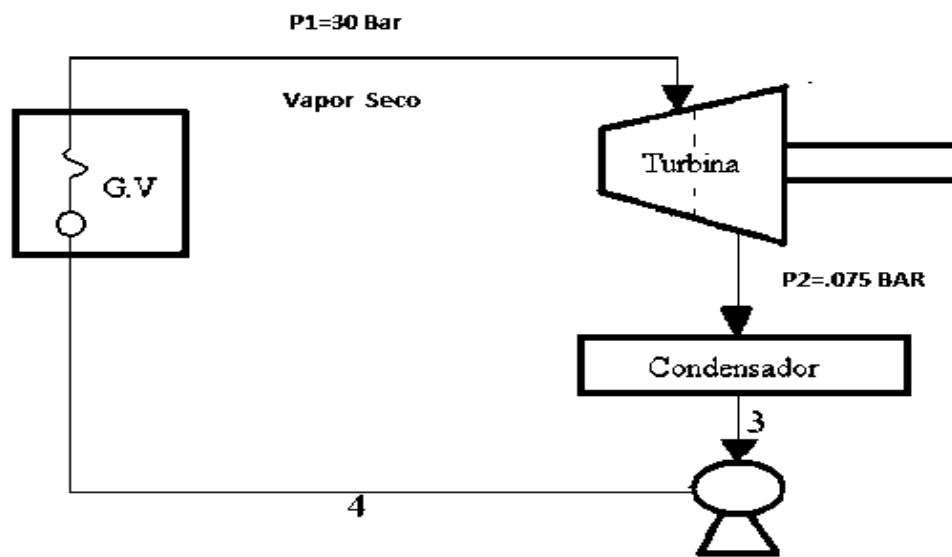


Figura 4.3 Diagrama de una central termoeléctrica convencional

De las tablas de vapor obtenemos:

$$P_1 = 30 \text{ Bar}$$

$$P_2 = 0.075 \text{ Bar}$$

$$h_1 = h_g = 2804.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{f2} = 168.2925 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$S_1 = S_g = 6.189 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{K}}$$

$$h_{fg2} = 2406.3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$S_{f2} = .5747 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{K}}$$

$$S_{g2} = 8.2541 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{K}}$$

$$S_{fg2}=S_{g2} - S_{f2} = 7.6798 \frac{kJ}{kg^{\circ}K}$$

$$V_{f3} = 1.0079 \frac{cm^3}{gr}$$

Como antes se menciona:

h_1 = Entalpía del vapor al salir de la caldera y entrada de la turbina, se consideran nulas las pérdidas de la tubería que las une.

h_2 = Entalpía del vapor al salir de la turbina.

h_3 = Entalpía del líquido, normalmente saturado al salir del condensador.

h_4 = Entalpía del líquido comprimido al entrar a la caldera.

Como en la turbina el proceso es isoentrópico:

$$S_1=S_2=S_g= S_{f2} +X_2S_{fg2}$$

Despejando la calidad nos queda:

$$X_2=\frac{S_1-S_{f2}}{S_{fg2}}=\frac{6.189-.5747}{7.6798}=.7307$$

La entalpía del vapor al salir de la turbina se obtiene de:

$$h_2= h_{f2} +X_2h_{fg2}= (168.2925) + (0.7307)(2406.3)=1926.57 \frac{kJ}{kg}$$

La entalpía del líquido al salir del condensador, es la entalpia a la presión del condensador:

$$h_3= h_{f2} = 168.2925 \frac{kJ}{kg}$$

El trabajo hecho por la bomba es:

$$W_b=h_4-h_3$$

$$h_4= h_3 +V_{f2}(p_4 - p_3)$$

De las tablas de vapor, con p2:

$$V_{f3} = 1.0079 \times 10^3 \frac{m^3}{gr}$$

La entalpía del líquido comprimido al entrar a la caldera:

$$h_4 = 168.2925 \frac{Kj}{kg} + 1.0079 \times 10^3 (30 - 0.075) \times 10^5$$

La presión expresada en pascales:

$$h_4 = 168.2925 \frac{Kj}{kg} + 3016.1407 \frac{J}{kg}$$

Para que exista homogeneidad entre unidades:

$$h_4 = 168.2925 \frac{Kj}{kg} + 3016.1407 \times 10^{-3} \frac{Kj}{kg}$$

$$h_4 = 171.3085 \frac{Kj}{kg}$$

El calor que se inyecta al generador de vapor:

$$Q = h_1 - h_4 = (2804.2 - 171.3085) = 2632.8915 \frac{Kj}{kg}$$

El trabajo en la turbina sería:

$$W_t = h_1 - h_2 = (2804.2) + (1926.57) = 877.63 \frac{Kj}{kg}$$

El trabajo desarrollado por la bomba es:

$$W_b = h_4 - h_3 = \int_4^3 v dp = v_3 (p_4 - p_3) = 1.0079 \times 10^3 (30 - 0.075) \times 10^5$$

$$= 3016.1407 \times 10^{-3} \frac{Kj}{kg}$$

$$= 3.016 \frac{Kj}{kg}$$

Este valor es muy pequeño comparado con el de la turbina debido a que W_b es muy pequeño calcularemos primero la eficiencia despreciando trabajo de la bomba:

$$\text{Como } W_t \ll W_b \text{ por lo tanto } W_n = 877.63 \frac{Kj}{kg}$$

$$n_t = \frac{W_n}{Q} \times 100 = \frac{877.63}{2632.8915} \times 100 = 33.33 \%$$

Ahora analizaremos la eficiencia introduciendo el trabajo de la bomba:

El trabajo neto es:

$$W_n = W_t - W_b = (877.63) - (3.016) = 874.614 \frac{Kj}{kg}$$

$$n_t = \frac{W_n}{Q} \times 100 = \frac{874.614}{2632.8915} \times 100 = 33.21 \%$$

Se puede observar en el cálculo de la eficiencia tomando en cuenta el sistema de bombas comparado con el que lo desprecia una baja da la eficiencia no muy significativa motivo por el cual se desprecia el trabajo realizado por la bomba ya que sólo es de 0.12% pero para fines de este trabajo se realiza el cálculo para observar dicha variación.

4.4 Análisis de la central termoeléctrica con vapor sobrecalentado

Considere el mismo ciclo del problema pero el vapor suministrado a la turbina ahora es sobrecalentado a 30 Bar y 500 °C. Calcular la eficiencia del ciclo.

De las tablas de vapor, considerando como antes isoentrópico el proceso en la turbina tenemos:

$$P_1 = 30 \text{ Bar}$$

$$P_2 = 0.1 \text{ Bar}$$

$$T_1 = 500 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$h_{f2} = 191.83 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_1 = h_g = 3456.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{fg2} = 2392.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$S_1 = S_g = 7.2338 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{K}}$$

$$S_{f2} = .6493 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{K}}$$

$$S_{g2} = 8.1502 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{K}}$$

$$S_{fg2} = S_{g2} - S_{f2} = 7.5009 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{K}}$$

$$V_{f2} = V_{f3} = 1.0102 \frac{\text{cm}^3}{\text{gr}}$$

Como en la turbina el proceso es isoentrópico:

$$S_1 = S_2 = S_g = S_{f2} + X_2 S_{fg2}$$

Despejando la calidad nos queda:

$$X_2 = \frac{S_1 - S_{f2}}{S_{fg2}} = \frac{7.2338 - .6493}{7.5009} = 0.8778$$

La entalpía del vapor al salir de la turbina se obtiene de:

$$h_2 = h_{f2} + X_2 h_{fg2} = (191.83) + (0.8778)(2392.8) = 2292.2298 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

La entalpía del líquido al salir del condensador, es la entalpía a la presión del condensador:

$$h_3 = h_{f2} = 191.83 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

El trabajo hecho por la bomba es:

$$W_b = h_4 - h_3$$

$$h_4 = h_3 + V_{f2}(p_4 - p_3)$$

De las tablas de vapor, con p2:

$$V_{f3} = 1.0102 \times 10^3 \frac{m^3}{gr}$$

La entalpía del líquido comprimido al entrar a la caldera:

$$h_4 = 191.83 \frac{Kj}{kg} + 1.0102 \times 10^3 (30 - 0.1) \times 10^5$$

La presión expresada en pascales:

$$h_4 = 191.83 \frac{Kj}{kg} + 3020.498 \frac{J}{kg}$$

Para que exista homogeneidad entre unidades:

$$h_4 = 191.83 \frac{Kj}{kg} + 3020.498 \times 10^{-3} \frac{Kj}{kg}$$

$$h_4 = 194.85 \frac{Kj}{kg}$$

El calor que se inyecta al generador de vapor:

$$Q = h_1 - h_4 = (3456.5) - (194.85) = 3261.65 \frac{Kj}{kg}$$

El trabajo en la turbina sería:

$$W_t = h_1 - h_2 = (3456.5) + (2292.2298) = 1164.27 \frac{Kj}{kg}$$

El trabajo desarrollado por la bomba es:

$$\begin{aligned}
 W_b = h_4 - h_3 &= \int_4^3 v dp = v_3(p_4 - p_3) = 1.0102 \times 10^{-3} (30 - 0.1) \times 10^5 \\
 &= 3020.498 \times 10^{-3} \frac{Kj}{kg} \\
 &= 3.02 \frac{Kj}{kg}
 \end{aligned}$$

Este valor es muy pequeño comparado con el de la turbina debido a que W_b es muy pequeño calcularemos primero la eficiencia despreciando trabajo de la bomba:

$$\begin{aligned}
 \text{Como } W_t < W_b \text{ por lo tanto } W_n &= 1164.27 \frac{Kj}{kg} \\
 n_t = \frac{W_n}{Q} \times 100 &= \frac{1164.27}{3261.65} \times 100 = 35.69 \%
 \end{aligned}$$

Ahora analizaremos la eficiencia introduciendo el trabajo de la bomba:

El trabajo neto es:

$$\begin{aligned}
 W_n = W_t - W_b &= (1164.27) - (3.02) = 1161.2502 \frac{Kj}{kg} \\
 n_t = \frac{W_n}{Q} \times 100 &= \frac{1161.2502}{3261.65} \times 100 = 35.60 \%
 \end{aligned}$$

Se observa que la eficiencia para este problema aumenta un 2%, para mejorar más la eficiencia se puede incrementar la presión de operación del vapor, por ejemplo si la presión es de 30 Bar aumentara a 50 Bar manteniéndose a la misma temperatura constante de los 500 °C, realizando los mismos cálculos su eficiencia mejorara un 2% más, por lo tanto se tendría una eficiencia de un 37% en el ciclo yal mismo tiempo se observa como el cálculo con el trabajo de la bomba en los cálculos sólo disminuye .9% para este caso.

4.5 Análisis de la central termoeléctrica ante una potencia dada

Se tiene una central termoeléctrica como se ilustra en la figura (4.4) calcular la eficiencia termodinámica con valores del problema anterior.

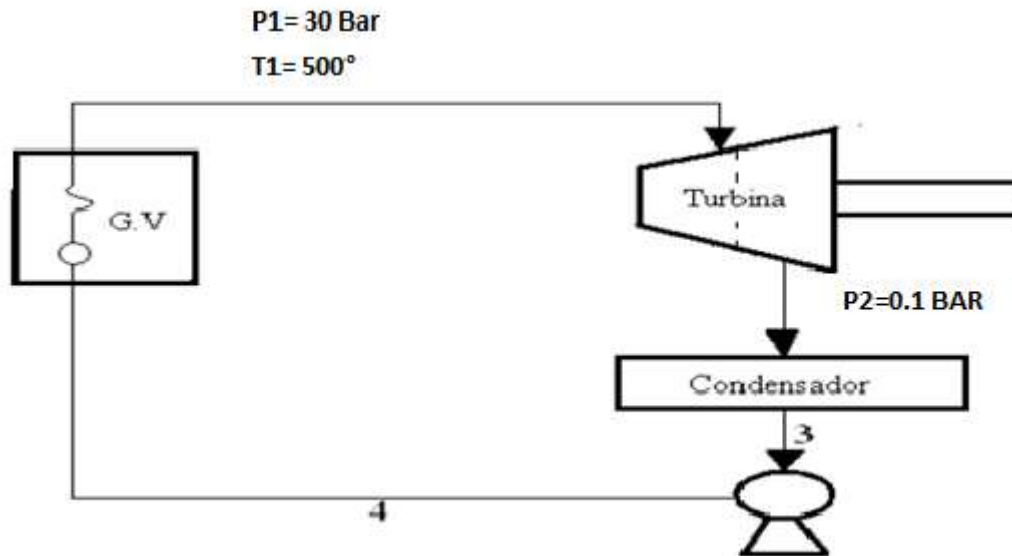


Figura 4.4 Esquema de una central termoelectrica con datos numericos

De los datos calculados tenemos:

$P_1 = 30 \text{ Bar}$	$h_1 = 3456.5 \frac{\text{Kj}}{\text{kg}}$
$T_1 = 500 \text{ }^\circ\text{C}$	$h_2 = 2292.2298 \frac{\text{Kj}}{\text{kg}}$
$N_{tg} = .9$	$h_3 = 191.83 \frac{\text{Kj}}{\text{kg}}$
$W_t = 1164.27 \frac{\text{Kj}}{\text{kg}}$	$h_4 = 194.85 \frac{\text{Kj}}{\text{kg}}$
$W_b = 3.02 \frac{\text{Kj}}{\text{kg}}$	$P = 300 \text{ MW}$
$W_n = W_t - W_b = 1161.2502 \frac{\text{Kj}}{\text{kg}}$	

La potencia de salida es:

$$P = N_{tg} W_n \dot{m}v$$

Donde:

P = Es la potencia de salida.

N_{tg} = Eficiencia del turbogenerador.

$\dot{m}v$ = flujo de vapor.

$\dot{m}a$ =flujo de agua

Para una potencia de 300 MW.

Despejando:

$$\dot{m}v = \frac{Pot}{N_{tg} W_n} = \frac{300 \times 10^3}{(.9)(1164.27)} = 286.302 \frac{kg}{s}$$

La potencia de la bomba es:

$$\dot{m}v = \dot{m}a$$

$$P_{bomba} = \dot{w}b = w_b \cdot \dot{m}a = (3.02)(286.302) = 864.63KW$$

En la siguiente tabla 4.1 se muestra la relación del flujo de vapor y de la potencia de las bombas conforme esta varia la potencia generada por el turbogenerador:

Tabla 4.1 Potencias de bomba

Potencia del turbogenerador	<i>m³</i>	Potencia de la bomba (kw)	Potencia de la bomba hp	Potencia de la bomba real
200 MW	190.68	576.42	772.6809651	1000
250 MW	238.58	720.52	965.844504	1000
300 MW	286.302	864.63	1159.021448	1500
350 MW	334.01	1008.71	1352.158177	1500
400 MW	381.73	1152.82	1545.335121	2000

Como se puede observar en la tabla 4.1 el aumento del flujo de vapor para cada potencia dada donde ese observa claramente que para cada caso la potencia requerida por cada bomba aumenta de acuerdo a su flujo y a la potencia del turbogenerador donde de esta manera podemos encontrar el motor que hará funcionar a estas bombas para que pueda hacer su trabajo dentro del sistema de la central eléctrica. Los motores utilizados son de tipo vertical y son un tipo especial de motores usados para este tipo de aplicaciones.

Capítulo 5

Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

En conclusión se pudo observar directamente en el análisis el impacto que tiene el sistema de bombas dentro del análisis donde se ve claramente el porqué es despreciado en los cálculos de la eficiencia en una central termoeléctrica así también se observó con datos numéricos y haciendo la comparación en el cálculo de las eficiencias tanto con el sistema de bombas así como cuando este se desprecia y pudimos ver la pequeña variación que resulta en el cálculo de dicha eficiencia, así como de observar paso a paso introduciendo en los cálculos de la eficiencia de la central el sistema de bombas y desglosarlo para observar este paso que siempre la mayoría del tiempo se omite.

El sistema de bombas es de vital importancia en una central termoeléctrica debido a que este tiene la función de la retroalimentación del flujo de agua hacia el generador de vapor para que el resultado sea la operación correcta de la central termoeléctrica teniendo como resultado la obtención de generación de energía eléctrica.

En tal sistema se encuentran contenidos diferentes tipos de bombas ya que es un sistema muy grande en cuestión de instalaciones y es analogía con el ser humano este sistema sería el sistema circulatorio y que es de gran importancia para que las centrales termoeléctricas funcionen adecuadamente.

5.2 Recomendaciones

Aunque la mayor parte del tiempo no se toma en cuenta el sistema de bombas en una central termoeléctrica se recomienda la observación del análisis donde se incluye y se desprecia el sistema de bombas para cálculos numéricos.

La realidad es que este sistema no puede omitirse nunca en una central termoeléctrica real debido aunque este fija la presión de operación en el generador de vapor.

Bibliografía

1. Libro:

[Orille Fernández 1993]

Ángel Luis Orille Fernández, Centrales eléctricas 1, España, Cataluña Editorial UPC, 1993.

2. Libro:

[Viejo Zubicaray 1993]

Manuel Viejo Zubicaray, BOMBAS, Teoría diseño y aplicaciones, México D.F, Editorial Limusa, 2000.

3. Libro:

[M.J Moran 1993]

M.J. Moran, Fundamentos de Termodinámica Técnica , México D.F : Editorial REVERTE.

4. Libro:

[GAFFERT 1993]

G.A Gaffert, Centrales de vapor, Barcelona: Editorial REVERTE, 1981.

5. Notas de centrales eléctricas

Dr. Gilberto Gonzales Avalos

Facultad de Ingeniería Eléctrica

U.M.S.N.H

Ligas consultadas:

6. http://es.wikipedia.org/wiki/Central_termoelectrica

7. http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/produccion-de-electricidad/viii.-las-centrales-termicas-convencionales