



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN**

***MANTENIMIENTO MAYOR A TURBINA DE VAPOR  
BROWN BOVERI***

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PRESENTA  
EDGAR IVÁN ALCARAZ JACOBO**

**ASESOR.  
M. en I. FELIPE DÍAZ DEL CASTILLO RODRÍGUEZ**

**CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2013**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO  
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE**

**ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ  
Jefa del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán.**



Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos a comunicar a usted que revisamos **EL TRABAJO PROFESIONAL:**

**“Mantenimiento Mayor a Turbina de Vapor Brown Boveri”.**

Que presenta el pasante: **EDGAR IVÁN ALCARAZ JACOBO**

Con número de cuenta: **40906467-2** para obtener el Título de: **Ingeniero Mecánico Electricista**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**

**ATENTAMENTE**

**“POR MIRAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 06 de Septiembre del 2013

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	M.I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez	
<b>VOCAL</b>	M.I. Sergio Martín Durán Guerrero	
<b>SECRETARIO</b>	Ing. Gabriel Vázquez Castillo	
<b>1er SUPLENTE</b>	Ing. Baruch Arriaga Morales	
<b>2do SUPLENTE</b>	M.I. Iván Noé Mata Vargas	

NOTA: Los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

En caso de que algún miembro del jurado no pueda asistir al examen profesional deberá dar aviso por anticipado al departamento.  
(Art 127 REP)

HHA/Vc

*Este trabajo se lo dedico a mis padres ya que gracias a su apoyo incondicional y sus consejos, me ayudaron a enderezar el camino cuando estaba errado, a luchar a pesar de la distancia y la soledad.*

*A mi padre Edel Alcaraz gracias por su cariño y ejemplo a seguir como gran profesionalista que es, a mi madre Elidet Jacobo gracias por su amor de madre, a sus sabios consejos y por el ejemplo de perseverancia que necesite durante mi carrera.*

*A mi hermano Edel que ha sido mi cómplice y guía para culminar mi carrera profesional.*

*A mi novia que en los momentos difíciles estuvo conmigo, a pesar de la distancia me apoyo en momentos que necesitaba a alguien más.*

*A mi asesor sus gracias por consejos y ser mi guía para la realizar esta tesis.*

*Y este trabajo es muestra de agradecimiento y cariño por todo su apoyo que me han brindado durante mis estudios profesionales.*

# ÍNDICE

Pág.

<b>OBJETIVOS</b> -----	- 1 -
<b>INTRODUCCIÓN</b> -----	- 1 -

## CAPITULO 1

### ANTECEDENTES, DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS TURBINAS

1.1. DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN-----	- 6 -
---------------------------------------	-------

## CAPITULO 2

### ELEMENTOS PARA LA GENERACIÓN DE VAPOR

2.1. CALDERA-----	12 -
2.2. CLASIFICACIÓN DE LAS CALDERAS-----	13 -
2.3. CALENTADORES DE AGUA DE ALIMENTACIÓN-----	14 -
2.4. PAREDES DE AGUA-----	16 -
2.5. ECONOMIZADOR DE CALOR-----	18 -
2.6. DOMO-----	22 -
2.7. RECALENTADOR-----	23 -
2.8. SOBRECALENTADOR-----	24 -
2.8.1. TIPOS DE SOBRECALENTADORES-----	25 -
2.9. PRECALENTADORES DE AIRE-----	26 -
2.10. VENTILADORES DE TIRO MECÁNICO-----	28 -

## CAPITULO 3

### TURBINAS DE VAPOR: DESCRIPCIÓN, FUNCIONAMIENTO Y ANÁLISIS DE FALLAS

3.1 COMPONENTES PRINCIPALES-----	31 -
3.1.1. ROTOR-----	31 -
3.1.2 CARCASAS-----	32 -

3.1.3 ALABES -----	32 -
3.2 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO -----	33 -
3.3 ELEMENTOS AUXILIARES DE LAS TURBINAS DE VAPOR -----	36 -
3.3.1 PISTÓN DE EQUILIBRIO -----	36 -
3.3.2 CHUMACERAS -----	37 -
3.3.3 CHUMACERA DE EMPUJE -----	38 -
3.3.4 CHUMACERAS DE CARGA -----	39 -
3.4 SISTEMA DE REGULACIÓN O GOBIERNO -----	40 -
3.5 REGULADOR HIDRÁULICO -----	41 -
3.6 COMPONENTES DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN -----	41 -
3.6.1 TANQUE PRINCIPAL DE ACEITE DE LUBRICACIÓN -----	41 -
3.6.2 ACONDICIONADOR DE ACEITE -----	41 -
3.6.3 BOMBA PRINCIPAL DE ACEITE-----	43 -
3.7 SISTEMA DE BOMBAS DE MERGENCIA (FIGURA 3.11)-----	43 -
3.7.1 BOMBA AUXILIAR DE ACEITE-----	43 -
3.7.2 BOMBA DE EMERGENCIA O DE C.D. -----	43 -
3.8 SISTEMA DE SELLADO -----	44 -
3.8.1 SELLOS DE VAPOR TIPO LABERINTO-----	44 -
3.9 SISTEMA DE TORNAFLECHA DE LA TURBINA -----	45 -
3.10 DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN-----	46 -
3.11 ANÁLISIS DE FALLAS EN TURBOGRUPO -----	46 -
3.12 CAUSAS PRINCIPALES DE PARADAS FORZADAS-----	47 -
3.13 PARADAS DIFERIDAS -----	48 -
3.13.1 CAUSAS DE PARADAS DIFERIDAS -----	48 -
3.14 PARADAS PLANEADAS -----	49 -
3.14.1 CAUSAS DE PARADAS PLANEADAS -----	49 -

## **CAPITULO 4**

### **MANTENIMIENTO A TURBINA DE VAPOR BROWN BOVERI**

4.1 INTRODUCCIÓN-----	51 -
4.2 ANTECEDENTES -----	51 -

4.3 DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES RELEVANTES -----	51 -
4.4 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO.-----	53 -
4.5 DESARROLLO-----	54 -
4.5.1 ROTORES. -----	54 -
4.5.1.1. ROTOR ALTA PRESIÓN.-----	54 -
4.5.1.2. ROTOR DE BAJA PRESIÓN -----	54 -
4.5.1.3. ROTOR DE INTERMEDIA PRESIÓN -----	54 -
4.5.2 CARCAZAS.-----	54 -
4.5.2.1. CARCAZA INTERNA DE ALTA PRESIÓN.-----	54 -
4.5.2.2. CARCAZA INTERNA DE INTERMEDIA PRESIÓN. -----	54 -
4.5.2.3. PISTÓN DE BALANCE ALTA PRESIÓN. -----	54 -
4.5.2.4. PISTÓN DE BALANCE INTERMEDIA PRESIÓN. -----	55 -
4.5.2.5. TURBINA DE BAJA PRESIÓN.-----	55 -
4.6 SELLOS DE EMPAQUETADURAS.-----	55 -
4.7 CHUMACERAS.-----	55 -
4.8 VÁLVULAS PRINCIPALES -----	55 -
4.8.1 VÁLVULAS COMBINADAS PARO-CONTROL. -----	55 -
4.8.2 VÁLVULAS INTERCEPTORAS. -----	56 -
4.8.3 OTRAS VÁLVULAS -----	56 -
4.8.4 VÁLVULAS DE NO RETORNO -----	56 -
4.9 TORNAFLECHA.-----	56 -
4.10 PEDESTAL DE CHUMACERA NO.2 -----	56 -
4.11 SISTEMA DE LUBRICACIÓN-----	57 -
4.11.1 BOMBA PRINCIPAL DE ACEITE -----	57 -
4.11.2 BOMBAS DEL TANQUE PRINCIPAL DE ACEITE DE LUBRICACION ---	57 -
4.11.3 ENFRIADORES DE ACEITE DE LUBRICACIÓN.-----	57 -
4.12 GENERADOR PRINCIPAL.-----	57 -
4.13 DESMANTELAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE LA TURBINA.-----	58 -
<b>DISCUSIÓN-----</b>	<b>108 -</b>

**CONCLUSIONES**----- 109 -

**BIBLIOGRAFÍA**----- 110 -

**ANEXOS**----- 111 -



## **OBJETIVOS**

- Identificar las partes de una turbina de vapor.
- Describir el funcionamiento de una turbina de vapor.
- Mostrar el procedimiento de mantenimiento mayor a una turbina Brown Boveri.

## INTRODUCCIÓN

La energía calorífica puede obtenerse mediante la combustión correcta de los combustibles comerciales y el funcionamiento de los equipos adecuados, parte de esta energía puede transformarse en trabajo. Cada máquina principal en una central térmica utilizada para la conversión de energía calorífica en trabajo mecánico útil se denomina *máquina motriz*.

Algunos ejemplos de máquinas motrices son: máquinas de vapor, turbinas de vapor, motores de combustión interna y turbinas de gas. Cada una de estas máquinas motrices requiere un medio que transporte la energía calorífica. Las máquinas y turbinas de vapor trabajan con vapor de agua a diferentes presiones y estados.

Existen diversos tipos de centrales de generación, la diferencia entre centrales, está en la forma en que se encuentra la energía disponible y en las transformaciones que se deben efectuar, así como el equipo y dispositivos necesarios.

Una central de generación es una instalación con el objetivo de producir electricidad, esto como resultado de una serie de transformaciones de energía, realizadas precisamente dentro de esta.

En una central generadora de energía eléctrica a base de vapor, la caldera convierte la energía química del combustible en calor y transfiere este calor al fluido de trabajo agua-vapor (energía térmica).

La turbina de vapor es una turbo máquina motora, que transforma la energía de un flujo de vapor en energía mecánica, a través del intercambio de la cantidad de movimiento entre el fluido de trabajo (entiéndase el vapor) y el rodete, órgano principal de la turbina, que cuenta con palas o álabes los cuales tienen una forma particular para poder realizar el intercambio energético. Las turbinas de vapor están presentes en diversos ciclos de potencia que utilizan un fluido que pueda cambiar de fase, entre éstos el más importante es el Ciclo Rankine, el cual genera el vapor en una caldera, de la cual sale en unas condiciones de elevada temperatura y presión. En la turbina se transforma la energía interna del vapor en energía mecánica que, típicamente, es aprovechada por un generador para producir electricidad.

En una turbina se pueden distinguir dos partes, el rotor y el estator. El rotor está formado por ruedas de álabes unidas al eje y que constituyen la parte móvil de la turbina. El estator también está formado por álabes, no unidos al eje sino a la carcasa de la turbina.

El término turbina de vapor es muy utilizado para referirse a una máquina motora la cual cuenta con un conjunto de turbinas para transformar la energía del vapor.

El hecho de la utilización del vapor como fluido de trabajo se debe a la elevada energía disponible por unidad de kg de fluido de trabajo. Este ratio en el caso del agua es tres veces mayor que en el caso del aire de forma para dos turbinas, una de vapor y otra de gas con la misma potencia de salida se tiene que el gasto másico de la turbina de vapor es tres veces menor que el de la turbina de gas.

Dada la gran diferencia que se debe obtener entre la presión de entrada y de salida de la turbina es necesario producir esta expansión en distintas etapas, escalonamientos, con el fin de obtener un mejor rendimiento de la operación.

A su vez, todo cambio en la dirección o en la magnitud de la velocidad del fluido origina un empuje sobre los álabes, de forma que cuando éstos van montados sobre una corona móvil, la potencia generada es igual al producto de la velocidad tangencial de los álabes por la componente periférica de la fuerza.

La turbina de vapor es la más simple, más eficiente y completa de las máquinas que usan vapor, comparada con otras máquinas, tienen las siguientes ventajas:

- Ocupa poco espacio
- Es ligera en peso
- Es bastante eficiente
- Funcionamiento relativamente silencioso y sin vibraciones

# CAPÍTULO 1

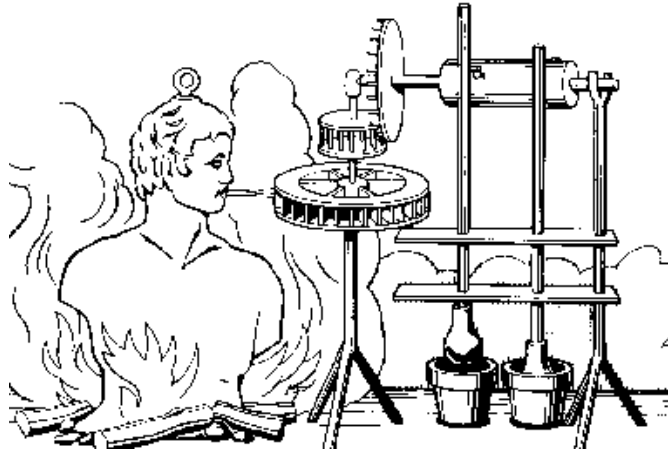
## ANTECEDENTES, DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS TURBINAS DE VAPOR

Un filósofo de Alejandría describió aproximadamente en el año 200 A. de C. la primera turbina de vapor, conocida como el juguete de Herón (Figura 1.1). Consistía en que un fuego bajo de una vasija evaporaba agua, cuyo vapor ascendía por el interior de los soportes verticales y entraba a una esfera hueca con dos toberas colocadas a sus extremos y con un eje descansando en chumaceras; el vapor salía por las toberas y la variación de su cantidad de movimiento debida a la aceleración, producía una reacción que hacia girar la esfera. Como la presión es baja, no se obtuvo potencia útil. Observe que la caída de presión tiene lugar en la parte móvil (las toberas de la esfera), y cuando tiene lugar una expansión importante en las paletas o alabes móviles de una etapa de turbina se dice que es una etapa de reacción.



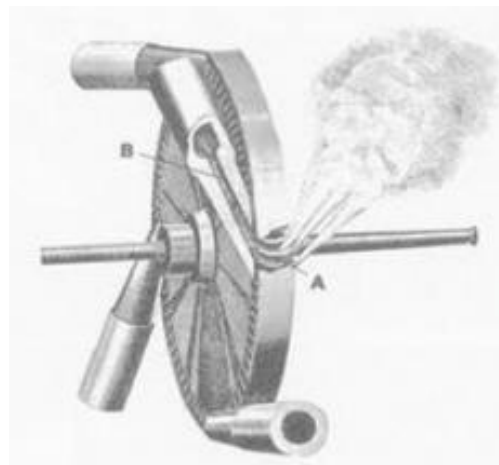
*Figura 1.1. Juguete de Herón.*

La siguiente turbina de vapor que encontramos en la historia es la rueda de impulso de branca, diseñada por el científico Italiano Giovanni Di Barca, donde el fuego en un hogar construido bajo el busto mostrado en la figura 1.2, generaba vapor, el cual salía con fuerza por la tobera fija (en la boca) y chocaba contra la rueda, haciendo que ésta girara. Obsérvese que la caída de presión tiene lugar en la parte fija de una etapa de la turbina, es decir, en las toberas.



*Figura 1.2. Rueda de impulso de branca.*

La primera aplicación industrial para una turbina de vapor fue patentada en Suecia por De Laval en 1878 y consistía en una maquina centrifuga desnatadora (Figura 1.3) que revoluciono la producción de leche, impulsada por vapor.



*Figura 1.3. Mecanismo de la máquina centrifuga.*

El último avance para la utilización de las turbinas de vapor con fines industriales y comerciales lo dio Charles Algernon Parsons en 1884, con el diseño y construcción de una turbina de vapor de alta velocidad que podía alcanzar has 18 000 rpm. A principios del siglo veinte la mayoría de los barcos modernos eran ya equipados con este tipo de motor.

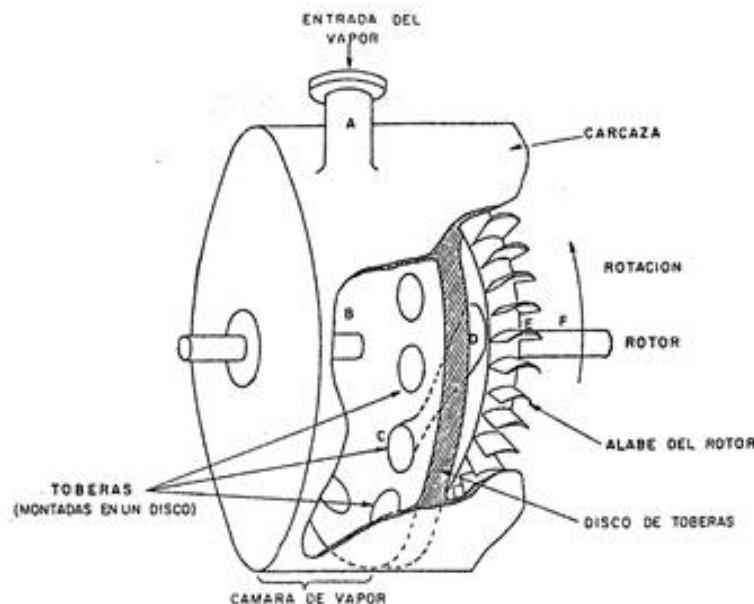
Casi simultáneamente, el estadounidense Charles Curtis ideo para General Electric los alternadores con turbinas de vapor.

Desde 1948 la potencia de la turbina más grande construida con un solo eje fue de 3600 rpm, y ha sido sobrepasada anualmente en un quinto de la potencia aproximadamente.

### 1.1. DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN

Las turbinas son máquinas de flujo permanente, en las cuales el vapor entra por las toberas y se expansiona hasta una presión más pequeña.

Una turbina de vapor es un aparato usado para convertir la energía térmica del vapor en trabajo útil. Sus principales componentes son (Figura 1.4); 1.- el rotor, parte móvil de la turbina que lleva montadas las ruedas con paletas (alabes) o las toberas móviles, 2.- la columna sobre la que gira el rotor y 3.- las toberas o aspas modificadas a través de las cuales el vapor se expande.



*Figura 1.4. Partes principales de una turbina*

La clasificación de las turbinas de vapor puede hacerse según la forma de aprovechamiento de la energía contenida en el flujo de vapor (reacción o acción), según el número de etapas (multietapa o monoetapa), según la dirección del flujo de vapor (axiales o radiales), si existe o no extracción de vapor antes de llegar al escape y por último por la presión de salida del vapor (contrapresión, escape libre o condensación). Máquina

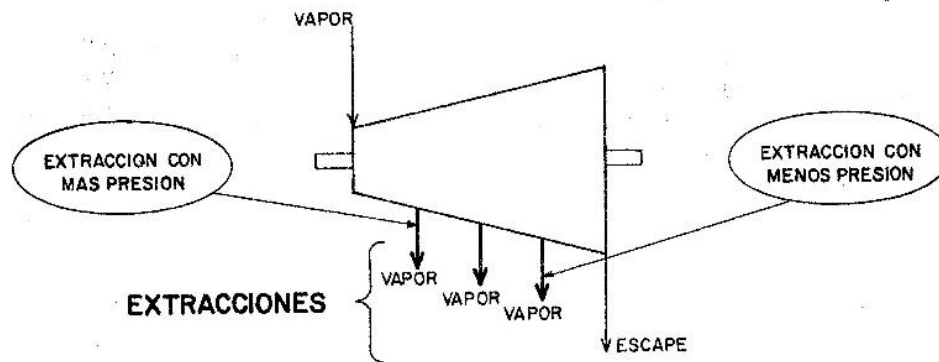
**Turbina monoetapa:** Se utilizan para turbinas de hasta 2 MW de potencia, al ser de más simple construcción son las más robustas y seguras, además de acarrear menores costos de instalación y mantenimiento que las multietapa.

**Turbina multietapa:** El objetivo de los escalonamientos en la turbina de vapor es disminuir la velocidad del rodete conservando una velocidad de los alabes próxima al valor óptimo con relación a la velocidad del chorro de vapor. Si tenemos una presión de vapor muy elevada sin las etapas necesarias, la turbina girase a una velocidad muy alta, que no sería viable mecánicamente por las dimensiones que debería tener el reductor (caja de engranajes que ajustaría la velocidad final del eje a la deseada).

**Turbina de flujo axial:** Es el método más utilizado, el paso de vapor se realiza siguiendo un cono que tiene el mismo eje que la turbina.

**Turbina de flujo radial:** El paso de vapor se realiza siguiendo todas las direcciones perpendiculares al eje de la turbina.

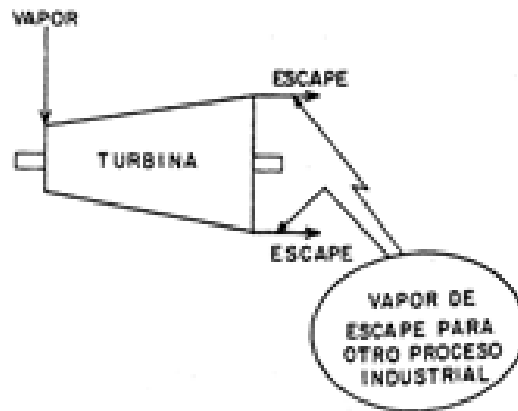
**Turbina con extracción de vapor:** En la figura 1.5 se muestra como se realiza la extracción en etapas de alta presión, enviando parte del vapor de vuelta a la caldera para sobrecalentarlo y reenviarlo a etapas intermedias. En algunas ocasiones el vapor también puede ser extraído de alguna etapa para derivarlo a otros procesos industriales.



**Figura 1.5. Turbina con extracciones.**

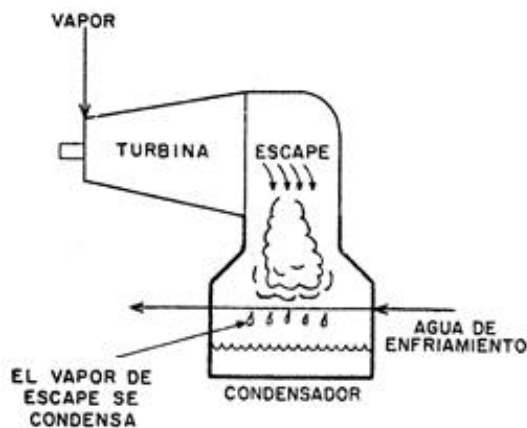
**Turbina de contrapresión:** La presión del vapor a la salida de la turbina es superior a la atmosférica, suele estar conectado a un condensador inicial que condensa al vapor,

obteniéndose agua caliente o sobrecalentada, que permite su aprovechamiento térmico posterior (Figura 1.6).



*Figura 1.6. Turbina de contrapresión.*

**Turbinas de condensación:** El vapor sale a una presión inferior a la atmosférica, en este diseño existe un mayor aprovechamiento energético que a contrapresión, se obtiene agua de refrigeración de su condensación (Figura 1.7). Este diseño se utiliza en turbinas de gran potencia que buscan un alto rendimiento.



*Figura 1.7. Turbina de condensación.*

**Turbinas de Acción:** En una turbina de acción ideal el chorro de vapor que sale por una tobera debería de llevarse al reposo los alabes, y, de esta suerte, cedería toda su energía cinética a los mismos.

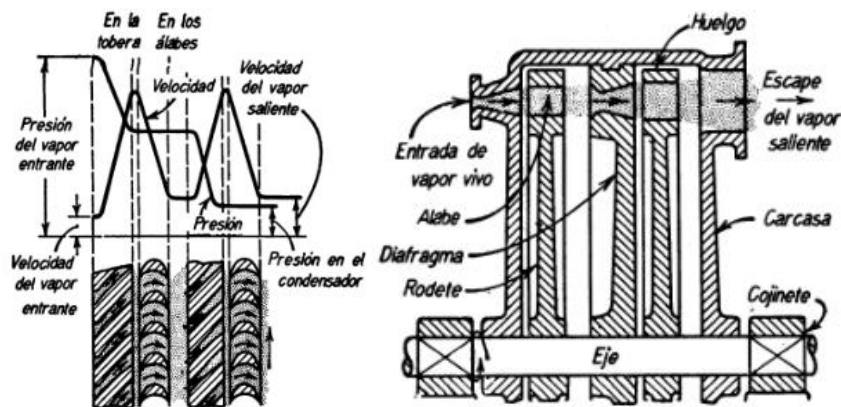


En las turbinas de acción de un solo paso, la velocidad de accionamiento para la que se obtiene el máximo rendimiento, es igual a la mitad de la velocidad absoluta en la entrada de la rueda. Con esta velocidad de accionamiento, las velocidades rotativas de la rueda, ocasionarían que el metal se sometiera a esfuerzos excesivos, con tensiones superiores a las de ruptura.

Sin embargo, es posible reducir la velocidad circunferencial de las turbinas manteniendo un buen rendimiento, pero recurriendo a las turbinas con escalonamientos.

Un escalonamiento tienen por objetivo disminuir la velocidad del rodete y conservar una velocidad de los alabes próxima al valor óptimo con relación a la velocidad del chorro. La velocidad de un chorro de vapor puede ser muy elevada, dependiendo de la presión y las temperaturas iniciales del vapor, así como también de la contrapresión. Si toda la energía se transformase en trabajo útil con un solo escalonamiento, sería necesario que la turbina girase a una velocidad comprendida entre 20 000 y 40 000 rpm. Tal velocidad exigiría una reducción mecánica de dimensiones desproporcionadas.

Los dos tipos de escalonamientos utilizados corrientemente son: 1.- de presión y 2.- de velocidad. En el primer caso, la caída de presión se produce en grupos de toberas de forma que la velocidad resultante del vapor es suficientemente baja para ser absorbida por una velocidad razonable en el rodete. Este proceso se repite tantas veces como sea necesario para expandir el vapor por completo, y se denomina escalonamiento Rateau (Figura 1.8).



**Figura 1.8. Escalonamiento de presión Rateau.**

El escalonamiento de velocidad consiste en producir una gran caída de presión en un grupo de toberas además de utilizar la velocidad resultante del vapor en tantos grupos de alabes como sea necesario. Este método de escalonamiento se conoce como principio de Curtis (Figura 1.9).

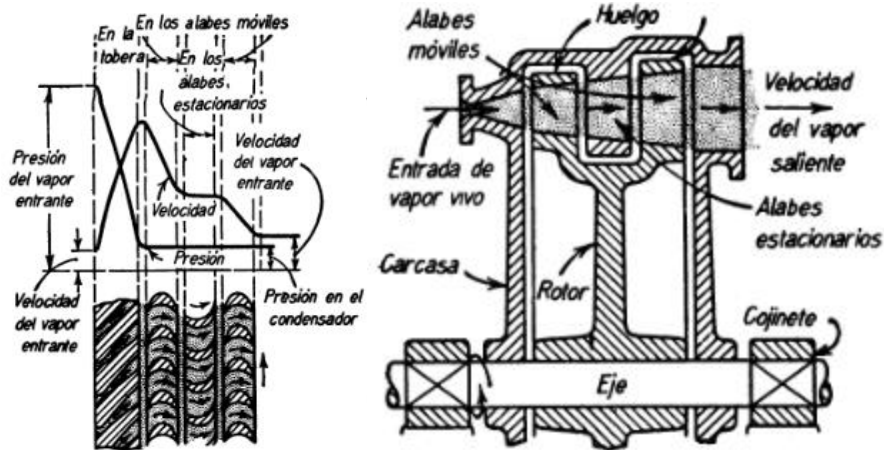


Figura 1.9. Escalonamiento de velocidad Curtis.

Dentro de los escalonamientos en las turbinas, estos también se pueden combinar haciendo una turbina mixta y la figura 1.10 representa una turbina con dos escalonamientos de presión, y otro de velocidad.

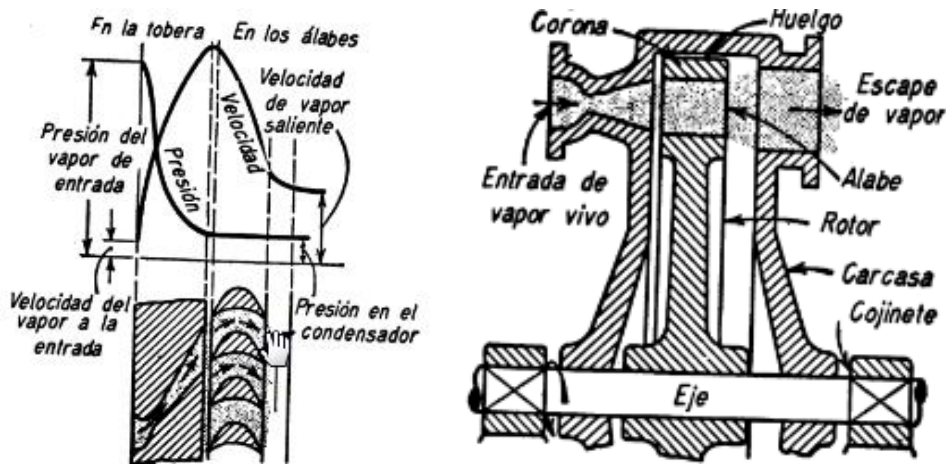


Figura 1.10. Turbina de acción, con un escalonamiento de presión y otro de velocidad

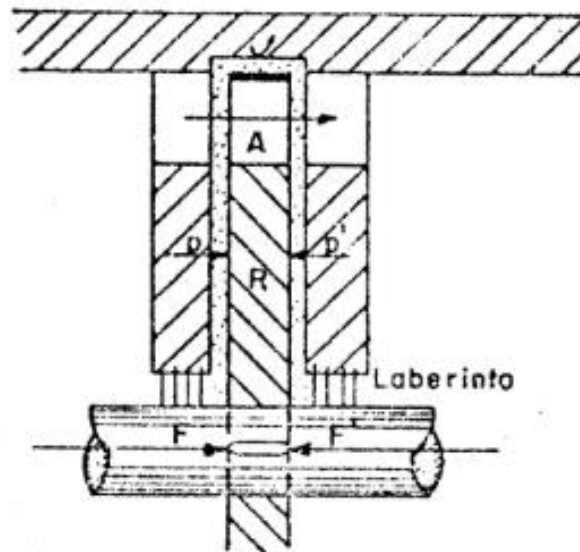
**Turbinas de reacción:** En la turbina de reacción la energía mecánica se obtiene de la aceleración del vapor en expansión. Las turbinas de este tipo cuentan con dos grupos de palas, unas móviles y las otras fijas. Las palas fijas están colocadas de forma que cada par actúa como una boquilla a través de la cual pasa el vapor mientras se expande, llegando a las palas de las turbinas de reacción, que se montan en un tambor que actúa como eje de la turbina.

En la turbina de reacción se produce un escalonamiento de velocidad. Este escalonamiento consiste en producir una gran caída de presión en un grupo de toberas y utilizar la velocidad resultante del vapor en tantos grupos de alabes como sea necesario mediante un juego de enderezadores reorientando el vapor de salida de la primera etapa para que entre en un segundo rodete.

Se denomina grado de reacción a la fracción de la expansión producida en la corona móvil respecto a la total, el grado de reacción indica que la turbina es de reacción pura, mientras que para el valor cero será una turbina de vapor de acción (Figura 1.11).

Las consecuencias es que si consideramos una rueda de turbina de reacción, comprobamos que  $p > p'$  y por lo tanto resulta un empuje axial  $A = F - F'$  que será resistido por la chumacera de empuje.

Por otra parte, como  $p > p'$ , el vapor tendrá que pasar por el huelgo  $J$  poniendo el alabe en corto circuito. A fin de evitar esta tendencia, se adopta  $J$  muy pequeño, pero esto requiere gran cuidado en la construcción y precauciones en la puesta en marcha por las dilataciones y expansiones que se producen durante su funcionamiento.

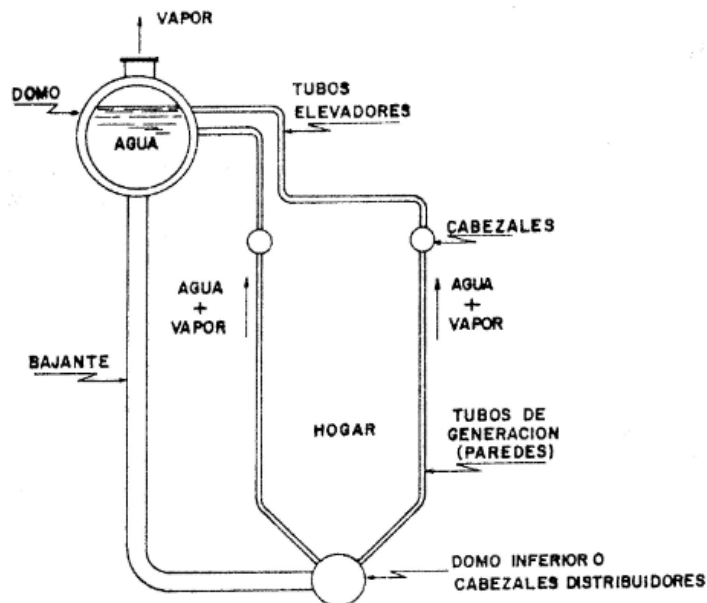


**Figura 1.11. Turbina de reacción.**

## CAPÍTULO 2

### ELEMENTOS PARA LA GENERACIÓN DE VAPOR

El generador de vapor (Figura 2.1) incluye la caldera, la cual consiste del domo de vapor, paredes de agua, calentadores de agua, sobrecalentadores, recalentador y economizador, precalentadores de aire regenerativos, ventiladores tiro forzado e inducido y ductos que conectan este equipo.



*Figura 2.1. Partes de una caldera.*

#### 2.1. CALDERA

La caldera es una parte que absorbe calor perteneciente al generador de vapor, aunque se acostumbra a llamarlo “caldera” a todo el generador de vapor, la caldera es solamente una de las partes principales que lo constituye.

Por definición la caldera es aquella parte del generador de vapor constituida por tubos, cabezales y recipientes que forman parte del circuito de circulación de agua o de la mezcla agua vapor.

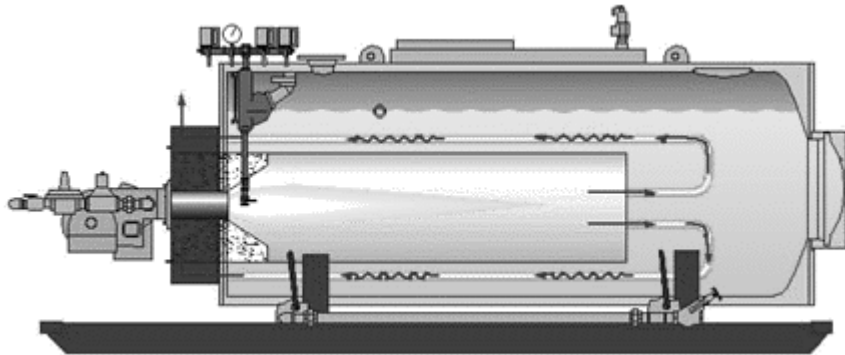
## 2.2. CLASIFICACIÓN DE LAS CALDERAS

Las calderas de vapor se clasifican atendiendo a la a la posición relativa de los gases calientes y del agua, en acuotubulares y pirotubulares.

La elección de la caldera para un servicio determinado depende del combustible de que se disponga, tipo de servicio, capacidad de producción de vapor requerida, etc.

En las calderas pirotubulares (Figura 2.2) los gases calientes pasan por el interior de los tubos, los cuales se hallan rodeados de agua.

Estas calderas generalmente tienen un hogar integral limitado por superficies enfriadas por agua.

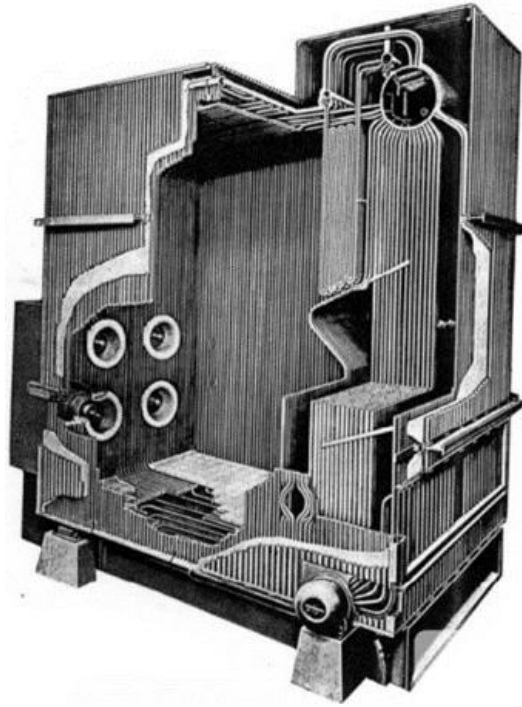


*Figura 2.2. Caldera pirotubular.*

Las calderas acuotubulares (Figura 2.3); en su interior tubular pasa agua o vapor, y los gases calientes que se hallan en contacto con la superficie externa de aquéllos.

Estas calderas son empleadas para generar elevadas presiones y rendimientos, debido a que los esfuerzos desarrollados en los tubos por las altas presiones.

Los objetivos perseguidos al construir una caldera cualquiera son: costo reducido, accesibilidad, buena circulación, transmisión eficiente del calor, entre otras ventajas.



*Figura 2.3. Caldera acuotubular.*

### **2.3. CALENTADORES DE AGUA DE ALIMENTACIÓN**

Para producir energía económicamente se necesita utilizar la máxima cantidad de calor que puede obtenerse a partir de un combustible dado. En las modernas centrales productoras de energía donde el calor que podría perderse en vapor de escape o gases quemados que van a la chimenea, se aprovechan para calentar el agua de alimentación de las calderas.

Las principales ventajas que se derivan son la reducción de las tensiones de las planchas y tubos de las calderas, utilización de calor que de otro modo se perdería, aumento de la capacidad de la caldera, etc.

La clasificación de los calentadores de agua depende del suministro de calor, si procede de los gases calientes que van a la chimenea, el calentador recibe el nombre de economizador. Cuando el calor utilizado se deriva del escape, prensaestopas, manantiales de vapor vivo es un calentador de agua de alimentación.

Dentro de los calentadores de agua de alimentación existe una clasificación como son los de contacto directo o tipo abierto y los calentadores cerrados o de superficie.

Los calentadores de agua de alimentación de contacto directo pueden ser verticales u horizontales. Ambas formas constan de las siguientes partes. Control de agua, purgadores de vapor, purgador de agua condensada, etc. Para poner en contacto el agua con el vapor de los calentadores, pueden utilizar dispositivos a base de artesas u otros recipientes, sobre los cuales se derrama el agua.

Los calentadores verticales (Figura 2.4) eliminan el aire y otros gases contenidos en el agua de alimentación. El agua de alimentación pasa dos veces a través de tubos en forma de U, en donde el vapor procedente de la parte superior del casco envolvente del aparato se transforma en agua. El agua de alimentación fluye desde los tubos del condensador hacia la caja de distribución donde se dirige el agua hacia el grupo superior de artesas escalonadas. Aquí tiene lugar el calentamiento inicial de agua. En general dentro del calentador el agua y el vapor circulan a contra corriente.

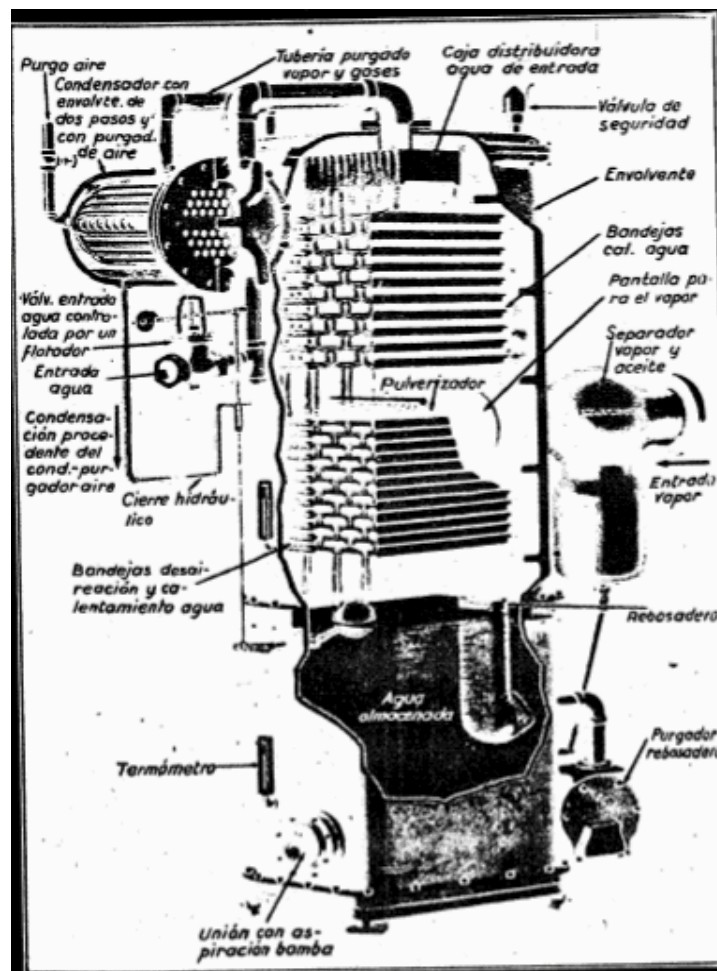
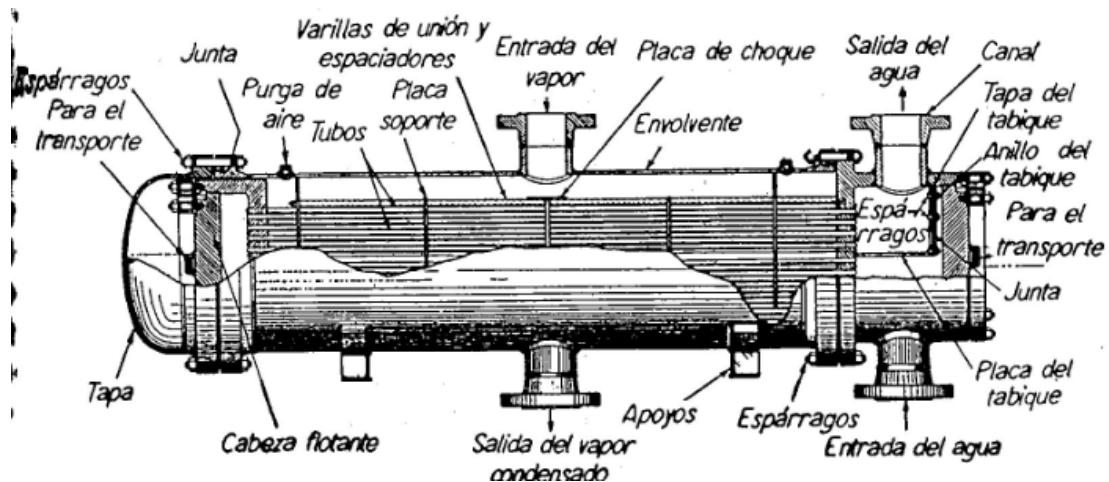


Figura 2.4. Calentador de agua vertical.

En los calentadores de agua de alimentación cerrados el agua y el vapor nunca están en contacto. En consecuencia estos calentadores pueden trabajar con presiones muy diversas. Los calentadores en que el agua circula por el interior de los tubos o serpentines se conocen con el nombre de calentadores de tubos de agua: si lo que circula por el interior de los tubos es vapor, se llaman calentadores de tubos de vapor. Los más corrientes son los de tubos de agua, el vapor y el agua pueden circular en el mismo sentido o en sentidos opuestos. En estos, el flujo único de agua circula en un solo sentido, mientras que en los de flujo múltiple el agua circula hacia atrás y hacia delante en varias series de tubos.

La figura 2.5 representa un calentador cerrado del tipo de superficie. El agua pasa dos veces a través de la superficie de calentamiento constituida por tubos de pequeño diámetro que terminan por un extremo en una cabeza fija.

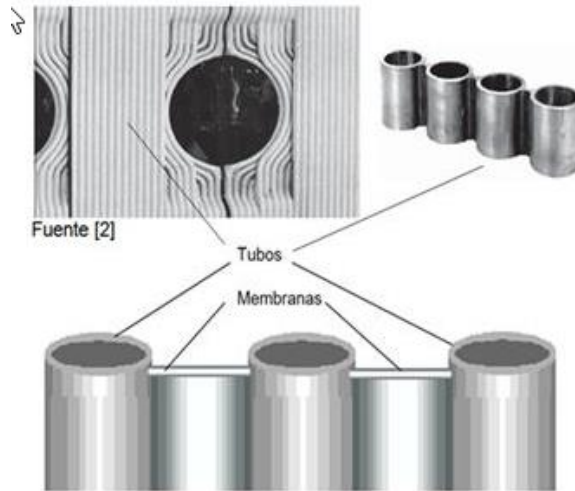


*Figura 2.5. Calentador para agua de alimentación tipo superficie.*

## 2.4. PAREDES DE AGUA

Las paredes de agua son las que forman el hogar. Son de una construcción de membrana (Figura 2.6), y los tubos que forman las paredes están soldadas a cabezales superiores e inferiores.



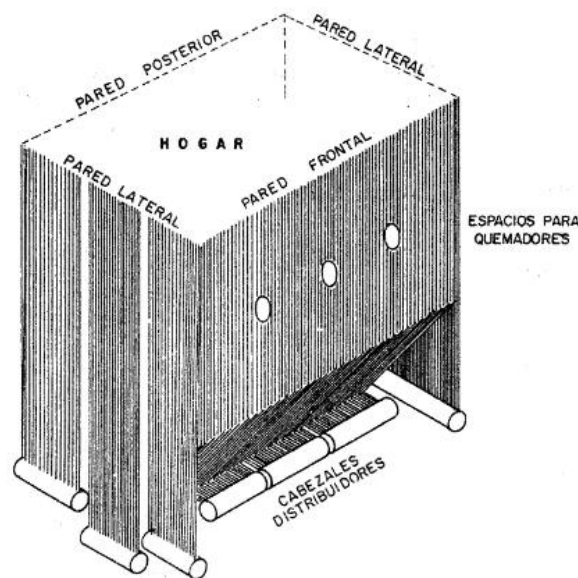


**Figura 2.6. Pared membrana.**

La caldera está operada bajo fuego, por lo que se aplican envoltentes interiores para evitar fugas en los tubos que no estén enmembrados.

Como se muestra en la figura 2.7, la pared de agua frontal está provista de aberturas para 15 quemadores, y la pared posterior para 10 quemadores. En estas partes se soldan pernos a los tubos para asegurar una buena ignición y a la vez proteger los tubos contra la flama.

La pared posterior forma una nariz entre los 36 000 mm y 41 000 mm de altura para proteger al recalentador colgante de la radiación directa del calor de los quemadores, subiendo de ésta nariz una pared pantalla que junto con la posterior del hogar encierran al recalentador colgante.



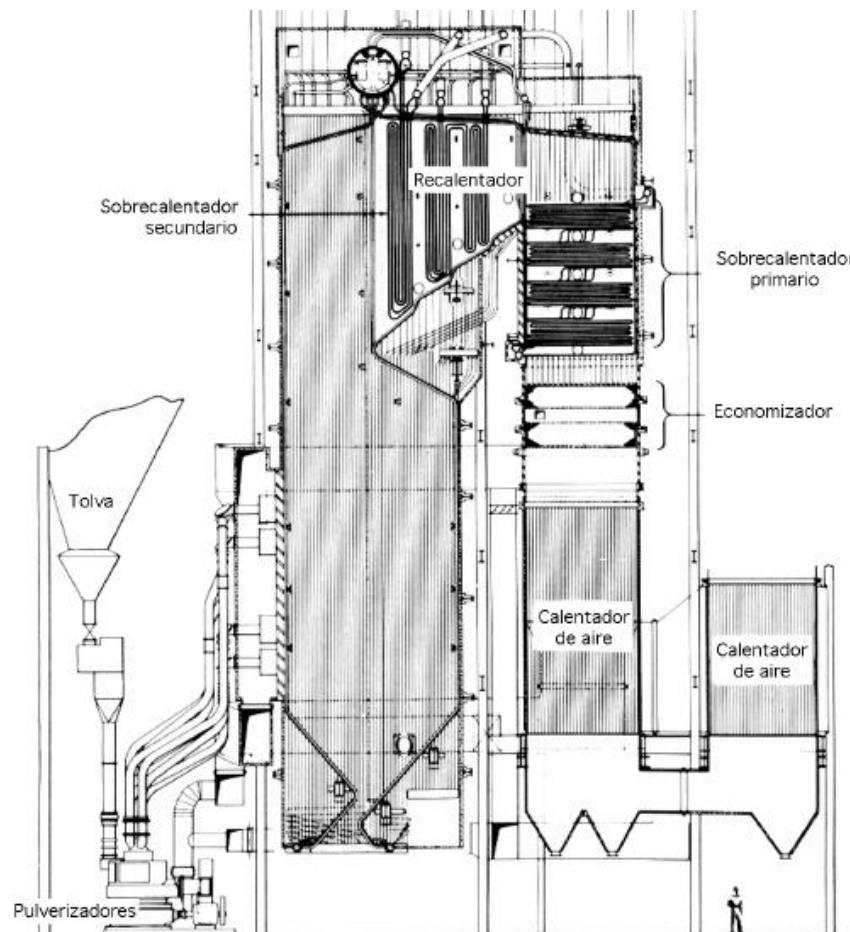
**Figura 2.7. Pared de una caldera.**

## 2.5. ECONOMIZADOR DE CALOR

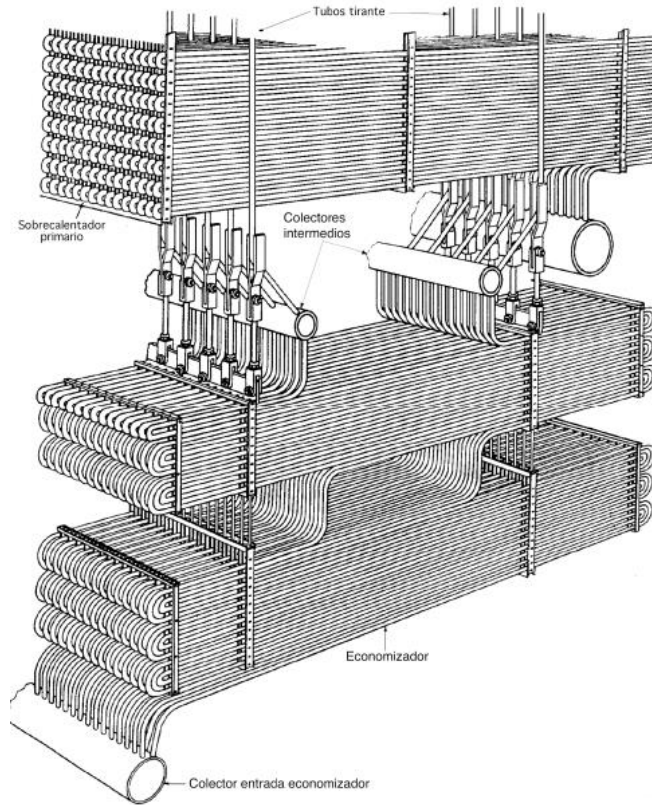
Los economizadores son superficies intercambiadoras de calor constituidas por bancos tubulares, que se utilizan para calentar el agua de alimentación de la caldera en las siguientes situaciones:

- a) Antes de que entre en el Domo
- b) Antes de que llegue a las superficies del hogar

Los economizadores reducen la posibilidad de que se presenten choques térmicos y grandes fluctuaciones en la temperatura del agua de alimentación de la caldera, que llega a las paredes de tubos de agua que configuran el hogar o que entra en el domo. El economizador suele ser la última superficie intercambiadora refrigerada por agua, que se encuentra aguas arriba, en el lado de humos, del calentador de aire. La figura 2.8 presenta la ubicación del economizador en una unidad que quema carbón y la figura 2.9 su esquema.



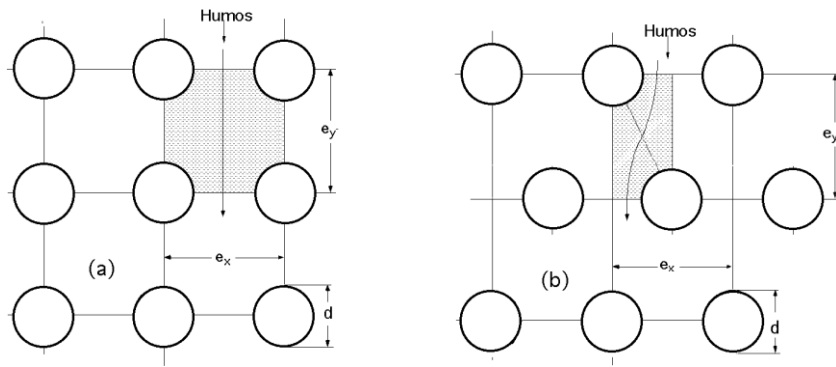
*Figura 2.8. Posiciones del economizador y del calentador de aire.*



**Figura 2.9. Economizador de caldera para generador de vapor de una planta termoeléctrica.**

La clasificación de los economizadores para la generación de vapor con carbón mineral y gas natural es la siguiente:

**Tubos lisos:** Para un economizador, el diseño más común y fiable es el que incorpora tubos desnudos, en alineación regular y al tresbolillo, con flujos cruzados, Fig. 2.10a. Los tubos desnudos y alineación regular minimizan la posibilidad de erosión y obturación provocada por la ceniza en polvo, en comparación con la disposición al tresbolillo, Fig. 2.10b. Cuando se quema carbón, la ceniza en polvo de los humos crea siempre un ambiente sucio y erosivo, por lo que el banco de tubos que constituye al economizador debe ofrecer la máxima facilidad para su limpieza con sopladores.



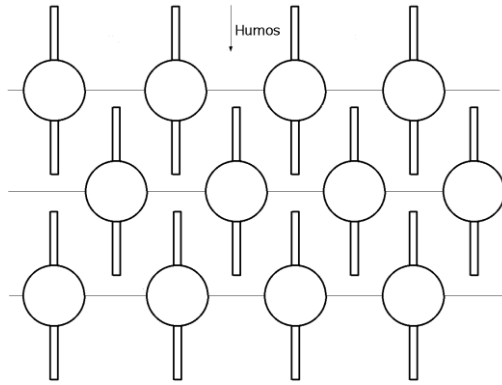
**Figura 2.10. Flujos cruzados de tubos lisos en línea y al tresbolillo.**

**Superficies ampliadas:** Para reducir los costos de inversión, los fabricantes de calderas construyen economizadores con una gran variedad de aletas, con el fin de mejorar el régimen de transferencia térmica desde el lado de humos hacia el lado del agua.

Las aletas son baratas, permiten reducir el tamaño y el costo del economizador. El éxito de su aplicación a un caso concreto depende del ambiente que se tenga en el lado de humos.

**Protuberancias:** Las protuberancias forman superficies similares a las que se configuran en algunos tipos de hogares para la posterior instalación y soporte de materiales refractarios; se comportan bastante bien en calderas que queman gases; los economizadores con protuberancias de clavos tienen mayores caídas de presión en el lado de humos, en comparación con los economizadores con aletas helicoidales. Los clavos suelen tener una longitud igual al radio del tubo en el que se insertan como protuberancias, y se sueldan perpendicularmente a la superficie tubular. En las calderas que queman carbón, las protuberancias de clavos se comportan mal a causa de las cenizas, debido a la alta erosión por la naturaleza del polvo arrastrado, pérdidas en la termotransferencia, por la suciedad debida al polvo depositado.

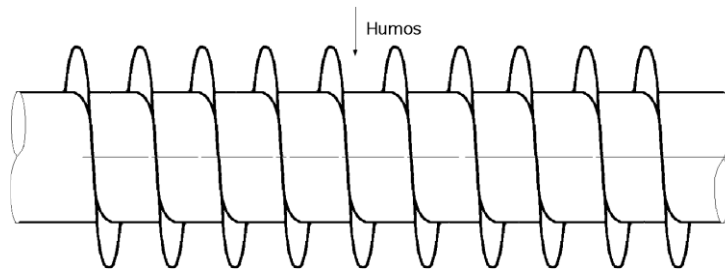
**Aletas longitudinales:** Una disposición de tubos aleteados longitudinalmente dispuestos al tresbolillo y formando parte de un intercambiador de calor de flujos cruzados se presenta en la figura 2.11. Estos economizadores no se comportan bien a lo largo de períodos de operación prolongada; en calderas que queman carbón, se sustituyen a consecuencia de las excesivas obturaciones y erosiones que se presentan tras un corto tiempo de operación. En calderas que queman aceites y gases, con frecuencia se presentan fallos debidos a la aparición de grietas en el extremo libre de las aletas, que son los puntos más calientes de las mismas, que se propagan hacia la pared del tubo, llegándose al fallo de la pared tubular que aloja la aleta.



**Figura 2.11. Tubos al tresbolillo con aletas longitudinales.**

**Aletas helicoidales:** Los tubos con aletas helicoidales, Fig. 2.12, se aplicaron con éxito en algunas unidades que quemaban carbones, aceites y gases.

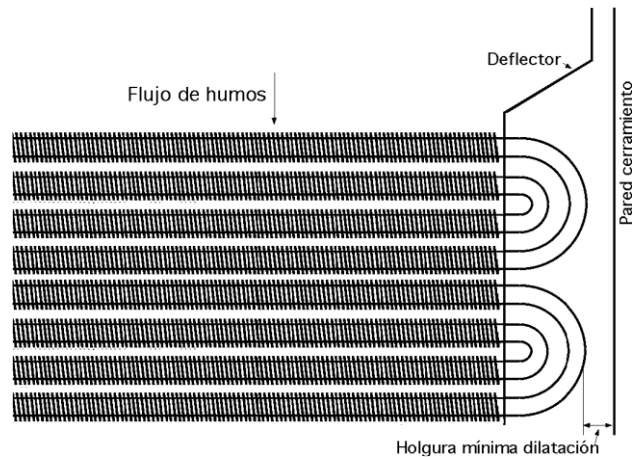
La aleta helicoidal consiste en una hélice de paso reducido, y se utiliza en unidades que queman gases, debido a la ausencia de ceniza volante.



**Figura 2.12. Tubo con aletas helicoidales.**

**Deflectores:** Los bancos de tubos que configuran un economizador tienen sus tramos rectos aleteados y están unidos en sus extremos mediante codos de la misma tubería, en los que no se instalan aletas, conformando una sección de paso preferencial para los humos. Para evitar que los humos rodeen los tramos rectos aleteados, que ofrecen una sección de paso más restringida, se disponen tabiques deflectores que evitan la circulación de humos a través de los codos (Figura 2.13); también se utilizan en economizadores de tubos desnudos.

La circulación de los humos a través de los codos, provoca una reducción de la transferencia de calor en el banco que tiene la superficie ampliada, elevación de la temperatura del cerramiento que limita el volumen en el que está ubicada la superficie termointercambiadora del economizador y mayor erosión en los codos cuando se queman carbones altos en cenizas.



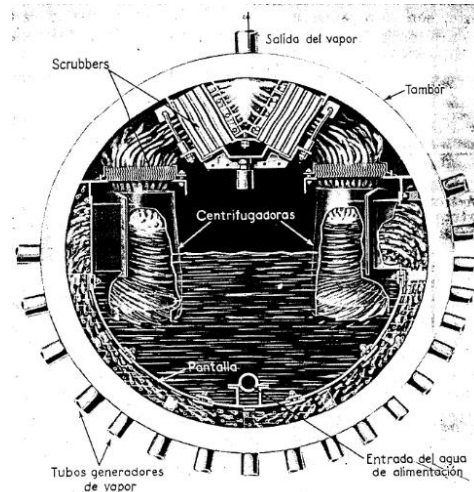
*Figura 2.13. Protección de los codos en haces tubulares aleteados.*

## 2.6. DOMO

A medida que el vapor asciende de los tubos más bajos, arrastra consigo agua, espuma y materias solidas en suspensión.

El proceso del domo generalmente tiene un proceso para impedir que espumas y las materias solidas sean arrastradas con el vapor saturado fuera de la caldera. El domo consiste en una combinación de órganos, tales como se ilustra en la figura 2.14, en los cuales el vapor y el agua pasan primero por un separador centrifugo, desde donde el agua es devuelta al cuerpo cilíndrico de la caldera, ascendiendo el vapor entre tabiques ondulados denominados secadores.

En estos las gotitas de humedad chocan contra los secadores tienen tendencia a adherirse a ellos retrocediendo hacia la caldera. De esta forma se impide que las partículas sólidas mantenidas en suspensión entren en los tubos del recalentador, en donde la evaporación completa haría que se depositen en forma de incrustación.



**Figura 2.14. Domo de vapor.**

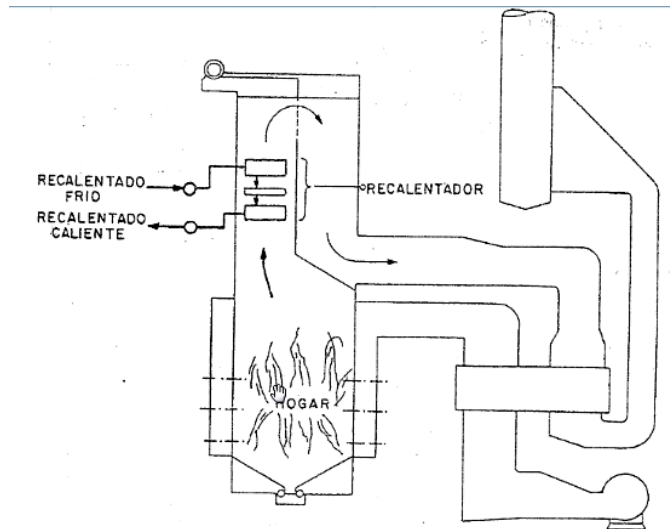
## **2.7. RECALENTADOR**

El vapor recalentado es, como ya se había mencionado, aquel cuya temperatura se ha aumentado por encima del punto de ebullición. Para recalentarlo, se hace pasar el vapor producido en la caldera por un recalentador, que consiste en una superficie de calefacción tubular expuesta a los gases de combustión (Fig. 2.15). Los recalentadores son simples intercambiadores de calor destinados a comunicar energía adicional al vapor además de la que posee en el estado de saturación a una presión dada. Los recalentadores que toman su energía de los gases de la chimenea se denominan de convección y los que quedan expuestos a la energía radiante de las llamas, de radiación.

El recalentamiento se emplea para asegurar la entrada de vapor saturado a las turbinas de vapor, pues la entrada de gotas de agua puede dañar la misma.

El problema de mantener una temperatura de vapor máxima constante, mientras varia la cantidad de vapor producido por la caldera, ha conducido a una gran variedad de combinaciones y emplazamientos de los recalentadores en el interior del hogar.

La intensidad de transmisión de calor a través de la superficie depende de los gastos de vapor y gas.



*Figura 2.15. Recalentador de vapor.*

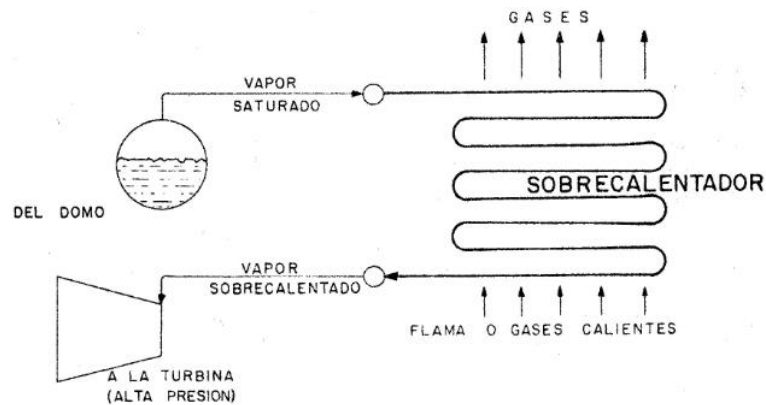
## **2.8. SOBRECALENTADOR.**

Este recibe el vapor saturado que sale del domo y lo sobrecalienta hasta la temperatura requerida por la turbina de vapor.

El vapor sobrecalentado se dirige a la turbina y va realizando un trabajo al mismo tiempo que va perdiendo su energía, si se usa el vapor saturado que sale del domo para enviarlo directamente a la turbina, sin sobrecalentamiento, la pérdida de energía en la turbina producirá condensación de una porción de vapor. Esta humedad es perjudicial para la turbina, por lo que el trabajo que debe efectuar el vapor está limitado por la cantidad de humedad que puede manejar la turbina.

Cuando se usa vapor sobrecalentado, puede obtenerse mayor trabajo y más pasos en la turbina antes de que se forme humedad en el vapor. Además el uso del sobrecalentador (Figura 2.16) hace que la eficiencia sea mayor.





**Figura 2.16. Sobrecalentador.**

Los sobrecalentadores están formados por una gran cantidad de tubos que se conectan a un cabezal de entrada y a otro de salida. Los sobrecalentadores son horizontales o verticales y pueden estar localizados en varios lugares del generador de vapor, hay diversas formas de colocarlos, ya sea en serie o varias secciones, de tal forma que la salida de una sección va a la entrada de otra sección posterior, es decir, que la temperatura se va elevando por pasos.

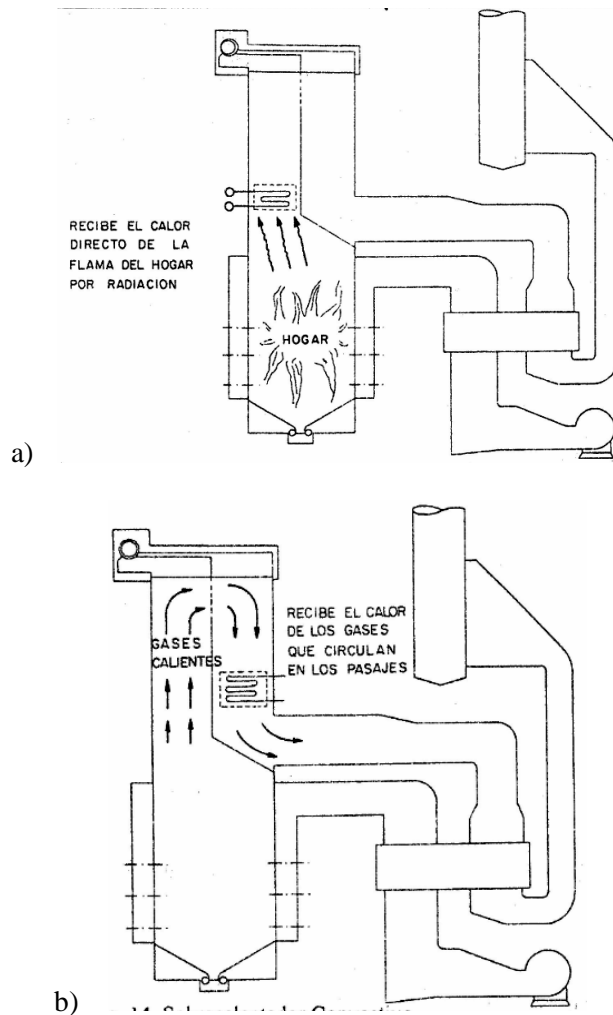
A la primera sección se le llama sobrecalentamiento primario, secundario y así sucesivamente o bien sobrecalentador de baja, intermedia y de alta temperatura.

### **2.8.1. TIPOS DE SOBRECALIENTADORES**

Existen dos tipos de sobrecalentadores: radiante (Fig. 2.17a) o convectivo (Figura 2.17b), el primero está localizado en la parte superior del hogar y recibe el calor directamente de la flama, por radiación con este tipo de sobrecalentadores, la temperatura del vapor de salida disminuye cuando se aumenta la carga. El segundo está localizado en los pasajes de los gases calientes y recibe el calor de estos. Su comportamiento es tal que la temperatura de salida de vapor aumenta cuando se aumenta la carga.

Como la turbina requiere una temperatura constante de vapor para su operación, los sobrecalentadores antes descritos no proporcionan una temperatura uniforme, se acostumbra a combinar los dos tipos, conectando un sobrecalentador convectivo en serie con otro radiante, lográndose así un comportamiento más uniforme en todos los rangos de carga.

En una central termoeléctrica el sobrecalentador tiene dos secciones, una primaria y la secundaria, para hacer más eficiente el ciclo aumentando la temperatura del vapor



**Figura 2.17. Sobrecalentador radiante y convectivo.**

## 2.9. PRECALENTADORES DE AIRE

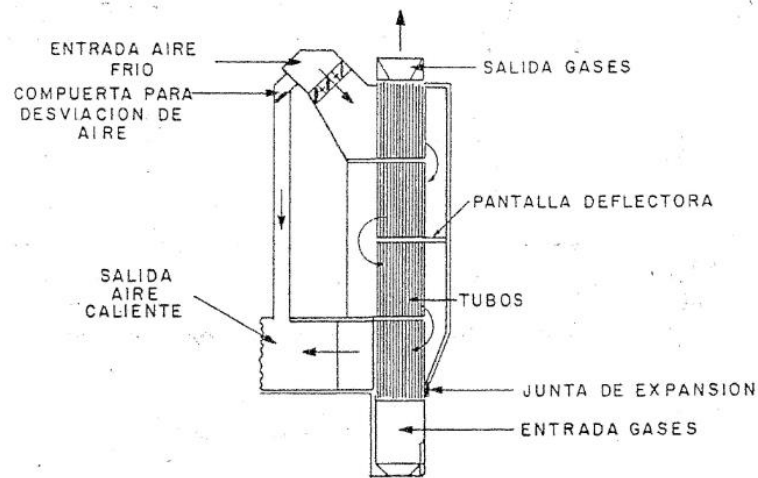
Los precalentadores de aire en un generador de vapor, son unidades que transportan calor desde los productos de combustión hacia el empleado como carburante. La justificación de su empleo puede generalizarse en:

- Economía de combustible.
- Requerimiento específico de los sistemas de combustión.

Estos se utilizan principalmente para calentar fluidos de proceso, y en general se usa vapor, aun cuando en las refinerías de petróleo el aceite recirculado tenga el mismo propósito.

Algunos generadores de vapor están equipados con superficies de calefacción auxiliares para aumentar la temperatura del aire que se usa en la combustión, valiéndose del calor de los productos de la misma. Este equipo es simplemente una superficie de calefacción, encerrada en una cubierta que tiene las conexiones apropiadas de aire para los gases de combustión.

El método que se usa para transferir calor se puede tomar como base para dividir los calentadores en dos clases: los recuperadores y los regeneradores. Los primeros recuperan de manera continua el lado frío de la superficie de calefacción por la transmisión de calor del lado caliente (Figura 2.18).



**Figura 2.18. Calentador de aire tipo recuperativo.**

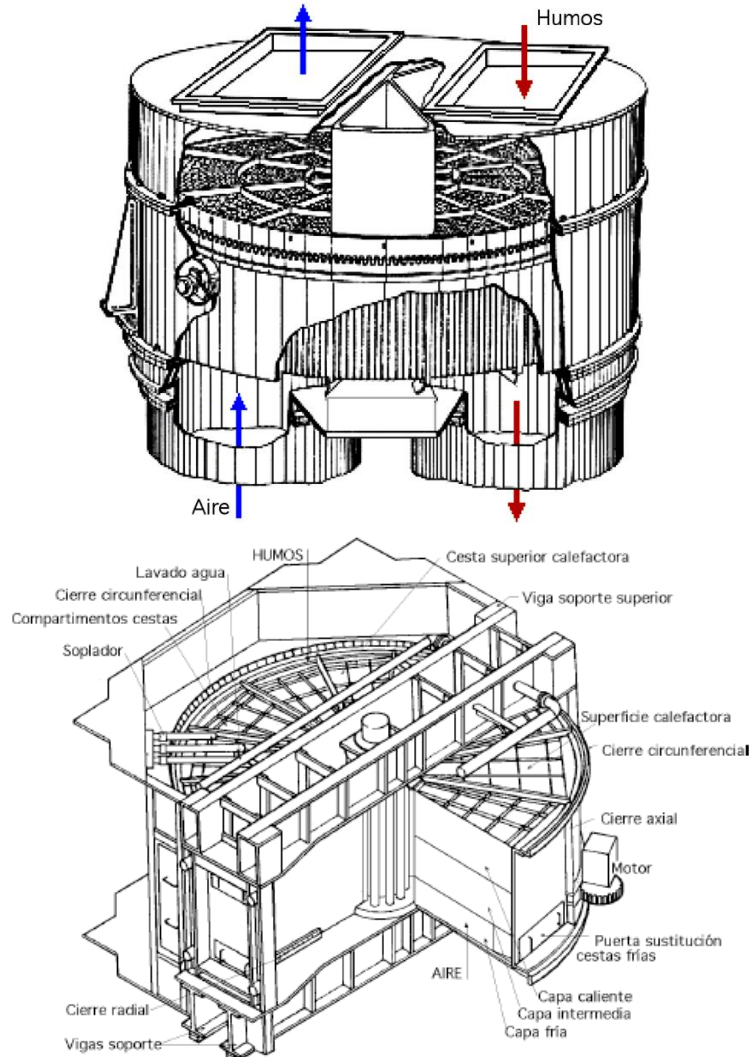
El tipo de calentador de aire regenerativo trabaja calentando y enfriando alternativamente la misma superficie de convección. A diferencia del recuperador, el regenerador es de acción discontinua y opera en ciclos. En el caso del regenerador giratorio, la acción cíclica se refiere al calentamiento y enfriamiento de un elemento de la superficie, pero la corriente de aire recibe calor de forma continua.

El recuperador o calentador de aire regenerativo se suele denominar calentador de Ljungström (Figura 2.19).

El ensamblaje del calentador consiste en un rotor de movimiento lento, empacado con alambres o placas metálicas de espaciamento estrecho. En cada extremo del rotor hay un alojamiento con divisiones para confinar el gas caliente a la mitad del rotor y el gas frío en la otra mitad.

Los sellos radiales y perimetrales que se deslizan sobre el rotor evitan fugas entre corrientes.

Este tipo de calentadores se emplea mucho en calderas de plantas generadoras de energía eléctrica.



*Figura 2.19 Calentador de aire Ljungström.*

## 2.10. VENTILADORES DE TIRO FORZADO

El tiro forzado es creado por la acción de inyectores de aire o vapor, o mediante ventiladores, se conoce como tiro mecánico, el cual se requiere cuando deba de mantenerse un determinado tiro con independencia de las condiciones atmosféricas y del régimen de funcionamiento de la caldera.

Hay diversos tipos de tiros pero los más comunes son el tiro forzado y el inducido. Cada uno de ellos puede emplearse solo o en combinación.

El tiro forzado se obtiene “soplando” aire en el interior de los hogares herméticos debajo de las parrillas y hogares mecánicos. El aire es introducido a presión y atraviesa el lecho del combustible, o quemador, para llegar hasta la cámara de combustión del hogar.

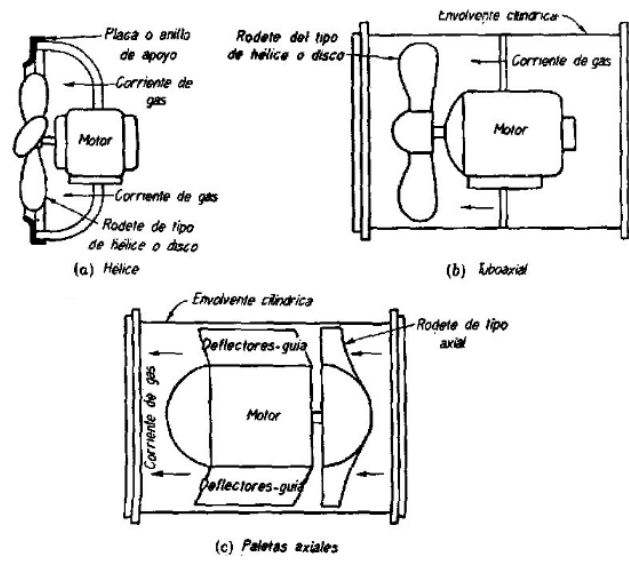
El tiro inducido se consigue con un ventilador centrífugo o de “chorro” colocado en los humerales, entre las calderas y la chimenea, o en la base de esta. En caso de haber recuperador, el equipo se instala entre las calderas y las salidas del recuperador. El efecto del tiro inducido consiste en reducir la presión de los gases en la cámara de la caldera por debajo de la presión atmosférica y descargar los gases a la chimenea con una presión positiva.

Los ventiladores consisten en una rueda o impulsor giratorio rodeado de una envolvente estática o carcasa.

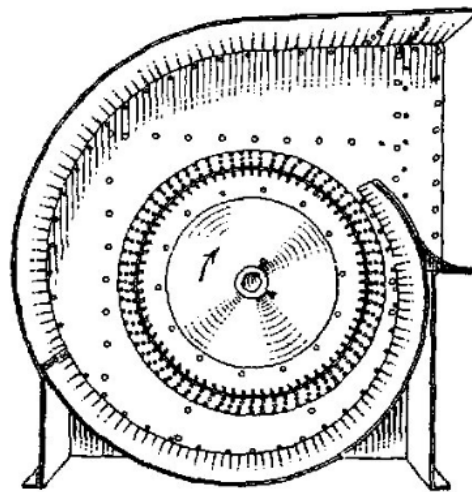
Existen dos clases de ventiladores los de flujo axial y los centrífugos. En los primero el flujo o corriente de flujo gaseoso es esencialmente paralelo al eje longitudinal o de eje de giro de la hélice o rodete.

En los ventiladores de flujo axial existen tres tipos: los de hélice, tubo-axial y deflector-axial. Cada uno de los tipos de ventiladores que se muestran en la figura 2.20 tiene su elemento impulsor montado en el eje del motor.

Los ventiladores centrífugos (Figura 2.21) están constituidos por un rodete que gira dentro de una carcasa o envolvente, construida generalmente de plancha metálica. Dicha envolvente tiene la forma de espiral, la cual permite que el aire sea lanzado de la periferia del rodete con pérdidas reducidas y ligera turbulencia.



*Figura 2.20. Ventiladores de flujo axial.*



*Figura 2.21. Rodete de ventilador centrifugo.*

# **CAPÍTULO 3.**

## **TURBINAS DE VAPOR: DESCRIPCIÓN, FUNCIONAMIENTO Y ANÁLISIS DE FALLAS.**

### **3.1 COMPONENTES PRINCIPALES**

#### **3.1.1. ROTOR**

El rotor (Figura 3.1), una de las piezas más importantes de una turbina de vapor, suele ser fabricado con acero forjado de bajo contenido de carbono, en lo que concierne a capacidad de una turbina comúnmente es el factor limitante debido a los altos esfuerzos térmicos y mecánicos que en él se presentan, en el van montados los alabes que le transfieren la energía del vapor para que el a su vez accione otro equipo (generador eléctrico, bombas, compresores, etc.)

También en él está el plato del cojinete de empuje (que puede ser parte integral o montado en caliente con una determinada interferencia) las ruedas donde se colocan los alabes (que al igual que el anterior, pueden ser parte integral del rotor o bien colocadas en él, con un encaje de interferencia y cuña); los acoplamientos con los que transmiten su potencia, y los muñones con los cuales se descansa en las chumaceras.



*Figura 3.1. Rotor de turbina de vapor.*

### 3.1.2 CARCASAS

Estas piezas, cuerpo exterior de la máquina, son por lo general de las más pesadas en las turbinas, es la que aloja los diafragmas, carcasas interiores y rotor, comúnmente se fabrican en fundición de acero y, durante su proceso de manufactura, se les hacen infinidad de pruebas con el objeto de que al instalarse se tenga la absoluta certeza de que cumplen con todos los requisitos demandados por las condiciones de operación a las que la turbina estará sometida.

A estas carcasas (Figura 3.2), después de haberlas limpiado casi siempre en forma mecánica, se les revisa minuciosamente para detectar posibles fallas, también se acostumbra hacer pruebas de hermeticidad para tener la seguridad de que entre ellas no existan fugas y tener el funcionamiento óptimo.



*Figura 3.2. Carcasa exterior.*

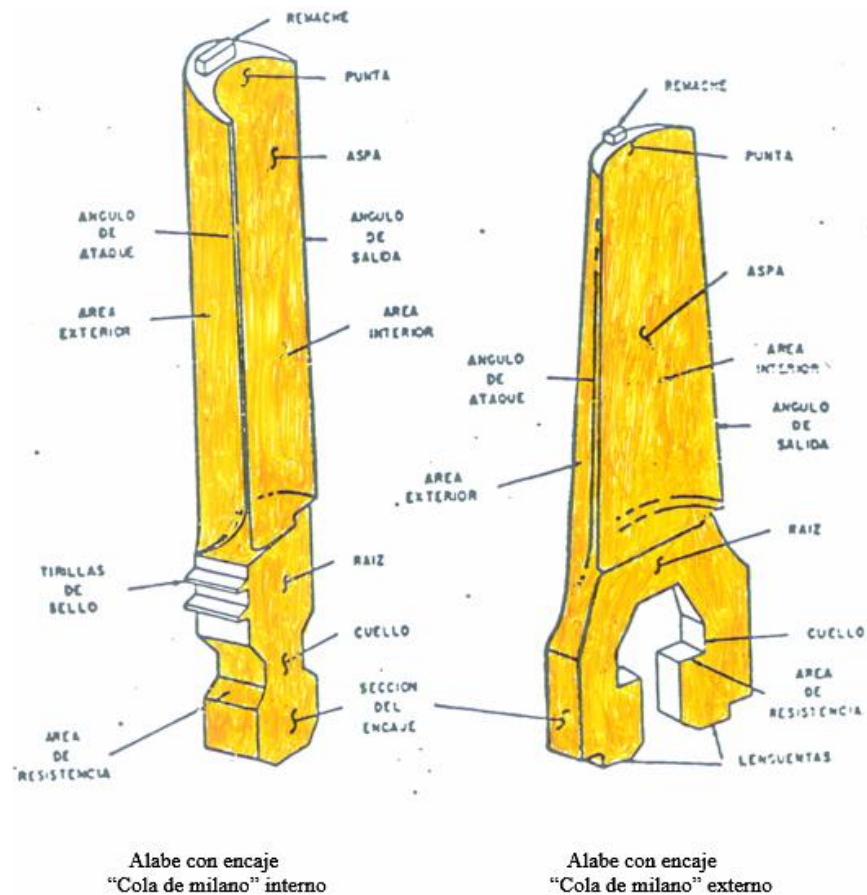
### 3.1.3 ALABES

También conocidos como paletas o aspas móviles (Figura 3.3), son en su mayoría fabricados con acero de bajo contenido de carbono y aleaciones de cromo, níquel, molibdeno y vanadio para que resistan los esfuerzos (mecánicos, térmicos, corrosivos.) y los medios a que están sometidos. Su objeto principal es el transformar la energía cinética que adquieren del vapor, en energía mecánica que transmiten a un rotor que a su vez acciona a otro equipo (generadores eléctricos, compresores, bombas, etc.).

Estas piezas, están montadas generalmente de manera tangencial sobre el rotor por medio de encajes comúnmente llamados "cola de milano", que bien puede ser interno o externo, también



frecuentemente tienen un remache en su cresta en donde se coloca una banda conocida como "cubierta de alabes ", que agrupa a varios de ellos con el fin de darles mayor rigidez y resistencia, a la vez que les disminuye su sensibilidad a ciertos estímulos causantes de vibraciones.



*Figura 3.3. Alabes de turbina.*

### 3.2 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

En la figura 3.4, se muestran los pasos que se necesitan para la generación del vapor.

El funcionamiento de la turbina, es que el vapor entra a una tobera en donde se expande, obteniéndose un chorro de vapor con gran velocidad.

En el principio de acción o de impulso la tobera se encuentra fija y el chorro de vapor se dirige en contra de una paleta móvil. La fuerza del chorro actúa sobre la paleta y la impulsa, produciendo el movimiento de la rueda.

En el principio de reacción la tobera se encuentra montada en la rueda y puede moverse libremente. La alta velocidad del vapor de salida provoca una reacción en la tobera, haciendo que la rueda se mueva en sentido opuesto al chorro de vapor.

## PARTICIPACIÓN DE LA TURBINA DE VAPOR EN LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA

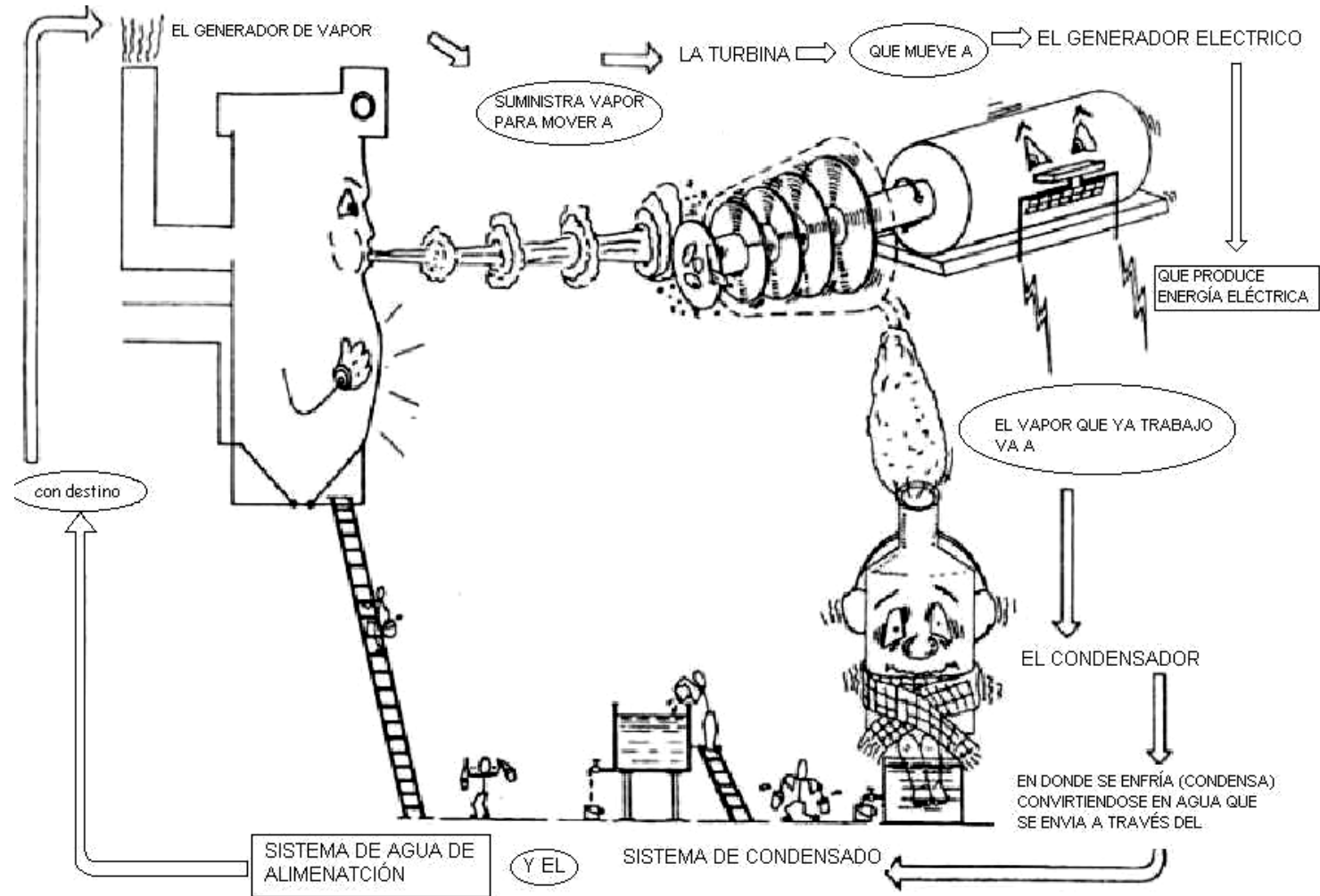
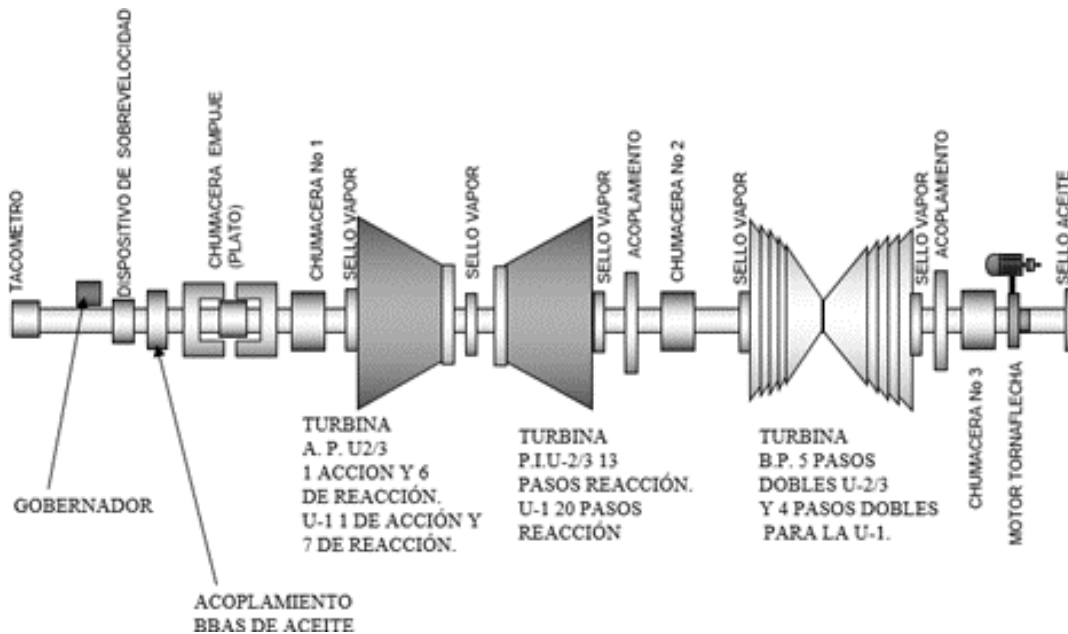


Figura 3.4. Ciclo de generación de energía.

### 3.3 ELEMENTOS AUXILIARES DE LAS TURBINAS DE VAPOR

De los elementos fundamentales de una turbina, existen otros elementos auxiliares que son tan importantes como los anteriores (Figura 3.5). Estos son los siguientes:

- Pistón de equilibrio o
- Cojinetes o chumaceras
- Sistema de regulación
- Sistema de lubricación
- Sistema de sellado
- Dispositivos de protección



*Figura 3.5. Turbogenerador.*

#### 3.3.1 PISTÓN DE EQUILIBRIO

En todas las turbinas de reacción existe un empuje axial, que tiende a desplazar el rotor hacia el sentido del flujo de vapor. En la zona de entrada de vapor a la turbina de alta presión, el rotor está configurado para formar un pistón de equilibrio o émbolo de compensación el cual está diseñado para producir el empuje hacia la terminal de entrada de vapor a la turbina, estando en condiciones normales.

### 3.3.2 CHUMACERAS

La operación de las chumaceras (Figura 3.6) del turbogenerador depende de la formación de la cuña de aceite que se genera al girar la flecha, lo que evita el contacto de metal con metal entre la flecha y los cojinetes; el huelgo del diámetro de la chumacera, el rotor y la viscosidad del aceite son factores determinantes en la característica de la cuña de aceite.

El diámetro del cojinete es mayor que el de la flecha, los huelgos son usualmente de una milésima por cada pulgada de diámetro del rotor, por eso, cuando este está inmóvil conserva una posición de contacto del metal del muñón con el metal antifricción del cojinete y que la cuña de aceite está reducida a cero.

Si se suministra aceite de lubricación en estado de reposo el contacto de metal con metal del eje y de la chumacera continuará sin cambio.

Cuando el rotor empiece a girar, el muñón tenderá a erguirse y gracias a la viscosidad del aceite y a la velocidad de giro de la flecha, el aceite lubricante se adhiere al muñón, arrastrándose hacia el claro del cojinete y flecha, formando así, la cuña o película.

La cuña de aceite entre la flecha y el cojinete disminuirá, se hará más angosta en la parte inferior con un incremento correspondiente de la presión. Además, la máxima presión de aceite se alcanza casi a la entrada del huelgo mínimo.

Ahora bien, a causa de las diferentes presiones del aceite en el huelgo, el eje “flota” sobre la película de aceite.

El espesor de la cuña de aceite aumentará si la viscosidad del mismo se incrementa así como también, si aumentan las r.p.m. del rotor. Por esta razón, cuando el turbo grupo está girando en tornaflecha, la temperatura del aceite lubricante deberá ser de 30 °C.

La temperatura del aceite a chumaceras en operación normal abajo de 38 °C puede producir pérdidas por fricción y operación inestable de los cojinetes (altas vibraciones) conocida como “latigazo”.

Por otro lado, deben de vigilarse constantemente las altas temperaturas del aceite y el flujo adecuado en los drenes de las chumaceras. La temperatura de 71 °C se considera la máxima temperatura en el cojinete más caliente para una operación continua, las temperaturas arriba de

77°C se consideran alarmantes ya que estas hacen que la viscosidad del aceite disminuya a tal grado que la cuña de aceite se haga incompleta en los cojinetes.



*Figura 3.6. Chumacera.*

### **3.3.3 CHUMACERA DE EMPUJE**

Es un componente muy importante de una turbina de vapor. Esta se encarga de cuidar que la flecha mantenga su posición axial. Por lo tanto, la chumacera de empuje debe soportar las fuerzas o empujes axiales tanto en estado transitorio como estable de la unidad.

También debe tener cuidados para la instalación y ajuste de dicho cojinete. Debe estar siempre lubricado con aceite limpio; cuando está rodando la unidad, se debe de supervisar la temperatura del aceite lubricante, dado que esta puede verse afectada por la posición de la flecha.

La chumacera de empuje (Figura 3.7) tiene libre movimiento a través de sus soportes deslizables que actúan de acuerdo con el principio hidrodinámico y asegura el no contacto con la superficie en operación normal de la unidad generadora.

El diseño básico es un disco doble de empuje combinado y de un muñón de soporte el cual está instalado entre las 2 partes de empuje.

La chumacera de empuje está constituida por 3 elementos:

- El cuerpo del cojinete
- Los resortes en anillo
- Por la propia chumacera.

El cuerpo del cojinete debe de soportar y transferir las fuerzas axiales hacía sus soportes deslizables manteniendo siempre centrada la flecha del turbogenerador.

El resorte asegura que la carga o el empuje sean distribuidos uniformemente en los soportes.

De acuerdo al empuje axial que recibe el cojinete, se cuenta con una línea adicional que suministra aceite a alta presión para la lubricación de la parte de soporte.

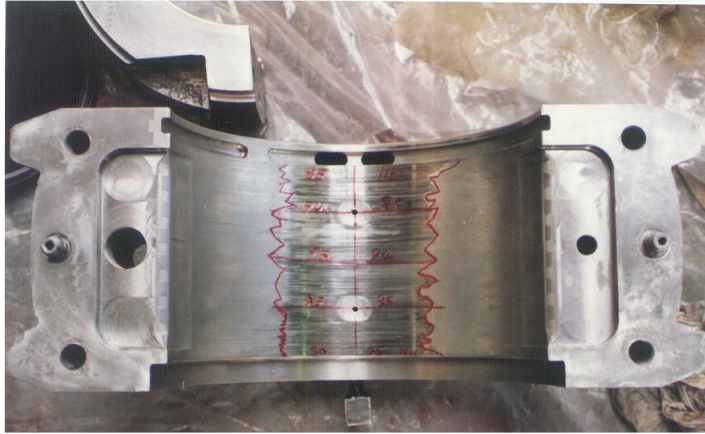


*Figura 3.7. Chumacera de empuje.*

### **3.3.4 CHUMACERAS DE CARGA**

Las chumaceras de carga (Figura 3.8) son las piezas sobre las cuales descansa y gira el rotor de una turbina de vapor. Estos cojinetes como también se les conoce, están fabricados en su mayoría de un material antifricción que es vaciado sobre unas zapatas o cuerpo de la chumacera de acero.

Para su conservación y buen funcionamiento de la turbina a estas chumaceras se les inspecciona de una forma visual sus condiciones físicas; con líquidos penetrantes la adherencia del babbitt; con micrómetros se verifican sus dimensiones; con alambre de plomo el apriete de su anillo exterior y con un lainometro se conoce su alineación con respecto al muñón, finalmente también se verifica el contacto que existe entre el cuerpo de la chumacera y su anillo exterior.

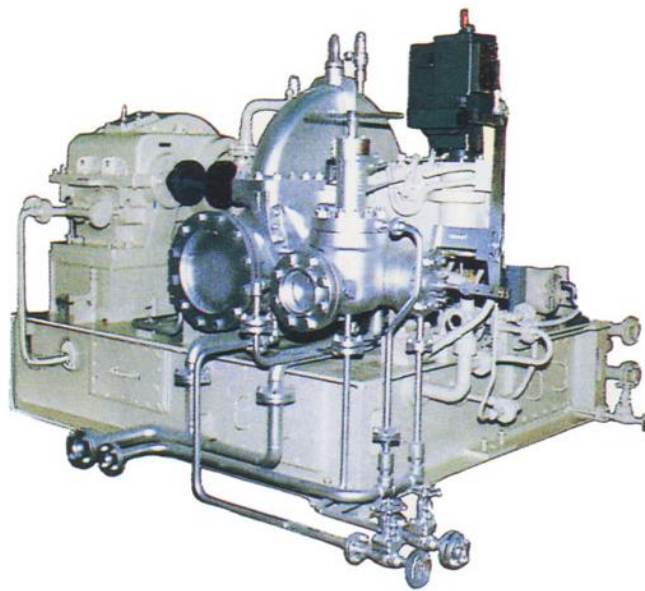


*Figura 3.8. Chumacera de carga.*

### **3.4 SISTEMA DE REGULACIÓN O GOBIERNO**

La función de los reguladores (Figura 3.9) en las turbinas es la de mantener constante la velocidad de rotación de la misma al variar la carga. Es decir mantener la condición de operación.

Para el caso de los generadores de corriente alterna se exige una frecuencia constante para lo cual debe mantenerse con mucha exactitud la velocidad de giro de la turbina. Dentro de las centrales el regulador más común es el regulador hidráulico.



*Figura 3.9. Gobernador.*



### **3.5 REGULADOR HIDRÁULICO**

Los reguladores hidráulicos operan regularmente mediante bombas centrífugas o de engranes montados directamente sobre la flecha de la turbina. Estas bombas trabajan con el aceite lubricante de la propia máquina, y tienen dos funciones que desempeñar, lubricar las chumaceras de la máquina y sirven como gobierno de la misma.

### **3.6 COMPONENTES DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN**

#### **3.6.1 TANQUE PRINCIPAL DE ACEITE DE LUBRICACIÓN**

El tanque principal contiene el volumen necesario de aceite para el funcionamiento de los sistemas de control y de lubricación, siendo su capacidad de 8719 galones. En la parte superior del tanque se encuentran montados los motores de las bombas auxiliares de lubricación, bombas de emergencia, de presión intermedia, de alta presión principal y de alta presión auxiliar.

#### **3.6.2 ACONDICIONADOR DE ACEITE**

Este equipo es una unidad provista para la continua filtración y acondicionamiento del aceite del turbogenerador.

Consiste en primer término, de un compartimento de precipitación compuesta por charolas y rejillas que efectúan la separación del agua del aceite; un compartimento equipado con bolsas de filtración las cuales retienen las partículas salidas, y en último término, cuenta con un filtro a presión que es removible para hacerle limpieza. Cuando este se satura se pasa el aceite por el desvío del filtro de la línea que retorna el aceite purificado al tanque principal.

La línea de derrame del nivel de aceite del tanque principal al tanque de acondicionamiento (Figura 3.10) tiene un indicador de nivel y cuenta con 2 interruptores que operan unas solenoides, una que suministra el aceite para el centrifugador westfalia y la otra para retornar el excedente de aceite del tanque principal hacia el tanque acondicionador.



***Figura 3.10. Tanque de acondicionamiento.***

En el aceite que llega al tanque acondicionador (primera descarga), el compartimiento de precipitación, en donde el agua que contiene es separada por diferencia de densidades con la ayuda de charolas y rejillas.

El agua es drenada al exterior por medio de un dren hacia la atmósfera. A continuación el aceite ya libre de agua pasa a la sección de filtrado donde se hace pasar por varias bolsas de filtración, quedando atrapadas las partículas sólidas que pudiera contener el aceite. Enseguida, este pasa al compartimiento de almacenaje donde se acumula.

La bomba de circulación de aceite succiona el aceite almacenado y el filtro después de la succión de la bomba se encarga de eliminar las impurezas que pudiera contener aun el aceite y así hacerlo retornar al tanque principal con lo que se completa su ciclo de purificación.

Además se cuenta con una unidad de almacenamiento que consta de un tanque de aceite limpio, un tanque de aceite impuro, de una bomba de transferencia de aceite y de sus respectivas líneas de interconexión.

El extractor del tanque purificador sustrae y desaloja los vapores del aceite a la atmósfera, formando así un ligero vacío en la parte superior.

La bomba de circulación del depósito del acondicionador proporciona al aceite la presión necesaria para pasarlo a través del filtro y para retornarlo al tanque principal.

Esta bomba para y arranca automáticamente cuando se tiene alto a bajo nivel en el depósito de aceite.

La unidad acondicionadora tiene un dren para desalojar el agua acumulado en el compartimento de precipitación.

### **3.6.3 BOMBA PRINCIPAL DE ACEITE**

Esta consta de 2 secciones:

Una que nos proporciona el aceite para el sistema de lubricación de los cojinetes y la otra para el aceite de control de presión intermedia.

Los impulsores de la bomba principal son del tipo centrifugo convencional y descarga a una presión de  $2.4 \text{ kg/cm}^2$ . Esta bomba no es autocebable y su función en operación normal es la de suministrar el flujo de aceite a los 2 sistemas, uno al de aceite de lubricación y para el otro sistema de aceite de control.

## **3.7 SISTEMA DE BOMBAS DE MERGENCIA**

### **3.7.1 BOMBA AUXILIAR DE ACEITE**

La bomba auxiliar de aceite está prevista para funcionar durante los periodos de arranque o paro de la unidad y en operación del tornaflecha. Esta es una bomba del tipo centrifuga y es operada por un motor trifásico. La bomba suministra el flujo de aceite necesario para arrancar o parar el turbogruppo, manteniendo una presión de aceite constante.

En el caso de falla de la bomba auxiliar se tiene el respaldo de una bomba de emergencia o de c.d. la cual suministra el flujo de aceite necesario para el enfriamiento de los cojinetes.

Después de rodar la turbina y aprox. a un 90% de la velocidad nominal (3240 r.p.m.) las 2 bombas, auxiliar de aceite de lubricación y la bomba de aceite de control de presión intermedia pueden ponerse fuera de servicio desde su interruptor de mando desde la sala de control.

### **3.7.2 BOMBA DE EMERGENCIA O DE C.D.**

Como se mencionó anteriormente, la bomba de emergencia (Figura 3.11) es un respaldo de aceite de lubricación para el caso en que llegase a dispararse la bomba auxiliar. Dicha bomba se diseñó para proporcionar un pequeño flujo de aceite a baja presión con el fin de evitar una

sobrecarga en el circuito de alimentación de c.d. Sin embargo, si llegase a presentarse la condición de un disparo de la unidad, el sistema de lubricación es confiable, si se tiene en servicio solo la bomba de c.d. pero dado que esta es la última protección para el suministro de aceite lubricante entonces no se permite dejar en servicio el motor tornaflecha operando con sólo la bomba de emergencia en servicio.



*Figura 3.11. Sistema de bombas auxiliares.*

### **3.8 SISTEMA DE SELLADO**

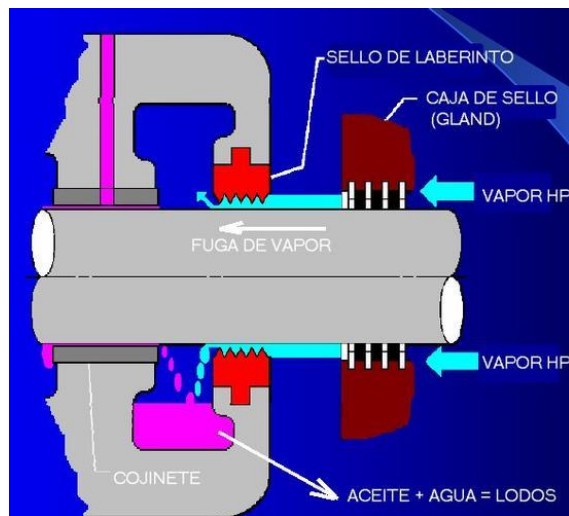
#### **3.8.1 SELLOS DE VAPOR TIPO LABERINTO**

Este tipo de sellos, llamados laberinto por la forma de obstrucción que ofrecen al flujo de vapor para que no salga de la turbina o no pase de una etapa a otra, por donde no debe. Se fabrican de una aleación comúnmente latón o de otros materiales que tengan muy bien definidos sus coeficientes de dilatación térmica.

Las revisiones que por lo general a estos sellos (Figura 3.12) se les hace después de su limpieza mecánica, y de su inspección visual es la verificación del claro que entre sus dientes y el rotor existe en forma radial y axial. Dependiendo de las lecturas que se obtengan, se decide si el laberinto aun cumple su función o si hay necesidad de cambiarlo por uno nuevo.

Ahora bien, cuando se miden estos claros, es muy importante bloquear los sellos en la dirección que los mueve el vapor para que así se asemejen las mismas condiciones de operación de la turbina. Otro detalle también digno de mencionarse es el colocar la cara de sello del laberinto

en el lado que le corresponde, ya que de lo contrario, este no sellara en forma correcta y el rendimiento de la unidad puede bajar sensiblemente.



*Figura 3.12. Sellos de vapor.*

### **3.9 SISTEMA DE TORNAFLECHA DE LA TURBINA**

El sistema de tornaflecha de la turbina consta de un motor de arrastre acoplado al rotor de la turbina, por medio de un mecanismo reductor que permite mantenerla en movimiento rotativo. La velocidad de rotación que el tornaflecha le imprime a la turbina es de 47 r.p.m. En cualquier condición de temperatura, el rotor sufre una flexión entre los puntos de apoyo (cojinetes) que en función de su magnitud afecta en mayor o menor grado a sus posibilidades de giro.

La flexión del rotor en un posición fija (estática), será mayor cuanto mayor sea su temperatura, es por ello que a altas temperaturas deberá de mantenerse a la turbina en rodado constante.

La deformación del rotor de la turbina se traduce en una excentricidad y vibraciones altas (a velocidades superiores a las 600 r.p.m.)

Para facilitar el arranque y disminuir los efectos de la excentricidad y de las vibraciones es conveniente que permanezca en servicio el motor tornaflecha y embragado de forma que siempre este rodando el rotor del turbogruppo durante los periodos en los permanezca parada la turbina. Dado que en algunas circunstancias (mantenimiento, reparación, etc.) esta condición no es posible, entonces se deberá de prolongar los tiempos de operación del motor tornaflecha luego de un paro de la unidad y prever lapsos de tiempos mínimos antes del futuro rodado.

Posterior al disparo de una unidad, la temperatura en el cuerpo metálico de la flecha será demasiado elevada. En este caso, la carcasa y el rotor adquieren una distribución no uniforme de calor a lo largo de su cuerpo. Esto significa que en la situación de dejar parado el rotor, la temperatura del vapor tendería a concentrarse en la parte media superior por lo que, en esta zona se tendrá una mayor temperatura con respecto a su parte media inferior.

Aunado a ello, el propio peso del rotor contribuye a que se genere la distorsión física o flexión de este cuerpo. Si bajo esta condición se reiniciará un rodado, causaría alta excentricidad y vibraciones con la posibilidad de crear rozamientos contra las carcasas y los sellos.

### **3.10 DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN**

Existen ciertas condiciones de operación que deben ser evitadas por las turbinas por su alto grado de riesgo como son las vibraciones, velocidad excesiva de giro, bajo vacío, operar sin lubricación, excesivo desplazamiento axial, alto nivel en los calentadores de alta y baja presión y otras más. Es por eso que las turbinas cuentan con las siguientes protecciones: disparo por bajo vacío, por alto nivel en el calentador de alta presión y baja presión, por solenoide, por altas vibraciones, por sobrevelocidad.

La protección de sobrevelocidad cuando por cualquier causa, a una turbina de vapor se le disminuye la carga en forma repentina, tendera a aumentar su velocidad de rotación, hasta valores muy altos, que podrían en peligro las partes de que está formada, e inclusive ocasionar su destrucción total. Para evitar daño se han diseñado los dispositivos "de sobre velocidad" los cuales mediante mecanismos, al alcanzar la turbina una velocidad predeterminada, cierra en forma momentánea la válvula de admisión de vapor, llamada de cierre rápido, haciendo que la turbina se pare. Este dispositivo de sobre velocidad se calibra para que opere generalmente con una velocidad de 10 a 15% mayor que la velocidad de trabajo.

### **3.11 ANÁLISIS DE FALLAS EN TURBOGRUPO**

El turbogenerador de vapor de tamaño de hoy día es una de las máquinas más confiables producidas por nuestra tecnología moderna. La robustez mecánica intrínseca del tipo de construcción de las ruedas y diafragmas es una característica clave que contribuye a su historial de confiabilidad. Al mismo tiempo, la disposición compartimentada permite confinar y reducir

al mínimo los daños internos resultantes de fallas en las toberas o en los álaves, o de la intrusión de materias extrañas o de contaminantes, lo cual también contribuye a mejorar la confiabilidad.

La confiabilidad y disponibilidad de los turbogeneradores resulta de la combinación de dos factores importantes:

- La confiabilidad inherente del tipo de diseño y fabricación de la máquina.
- El grado en que los procedimientos de instalación, condiciones ambientales y prácticas de explotación acrecientan o reducen la confiabilidad inherente del equipo.

Con respecto a la confiabilidad inherente, cabe considerar aquí cual es el nivel de confiabilidad que puede alcanzarse en forma realista y práctica. No existe, por supuesto, un método empírico para derivar respuestas específicas a esta cuestión, si bien, ciertos análisis probabilísticos nos pueden dar algunas ideas útiles. Un examen del historial de un gran número de unidades turbogeneradoras instaladas nos sugiere, sin embargo, que es posible lograr un porcentaje de tiempo perdido por paradas forzadas de alrededor del 0.05 por ciento, sujeto a las limitaciones siguientes:

Los parámetros de diseño (presión, temperatura y caudal de vapor, etc.) deben hallarse dentro del área en que exista una experiencia razonable y satisfactoria, o donde haya antecedentes de experiencia que pueda aplicarse al caso en cuestión.

En síntesis de la actividad de diseño del fabricante debe ser incrementada por una experiencia extensiva y satisfactoria en la explotación de equipos bajo las condiciones (velocidad, ciclo, servicio, ambiente, etc.) para las cuales se propone el equipo en cuestión.

### **3.12 CAUSAS PRINCIPALES DE PARADAS FORZADAS**

Con respecto a la categoría más costosa y que causa más problemas, la de las paradas forzadas, el resumen de un análisis anual de centrales térmicas en México durante un periodo de dos años aporta los siguientes datos:

- Depósitos internos en la ruta del vapor.
- Inducción o inyección de agua.

- Alimentación de aceite lubricante.
- Sistema de control.
- Problemas varios en las válvulas de la turbina.
- Sistema hidráulico de alta presión.
- Diversos problemas electrónicos.
- Problemas varios en el generador.
- Sistema estático de excitación.
- Problemas eléctricos varios en la turbina.

Los depósitos en la ruta del vapor, los problemas de inducción o inyección de agua y las fallas del sistema de lubricación representan la principal causa de paradas forzosas. También es importante notar que estas causas específicas reflejan en gran parte la calidad del diseño de la central, y de las condiciones generales ambientales y de explotación. Si bien es cierto que existe una necesidad constante de mejorar el diseño de los turbogeneradores, también es evidente que para lograr una mejora general en la disponibilidad de las máquinas es necesario considerar las funciones y condiciones de explotación.

Algunas razones de fallas no figuran en la lista de las causas principales de paradas forzosas. Entre las faltantes se encuentran los cambios en la alineación, vibraciones, fallas de álabes y toberas, y grietas en la carcasa de fundición. Estas simplemente no son causas significativas de paradas forzosas.

### **3.13 PARADAS DIFERIDAS**

Las paradas diferidas son menos críticas en cuanto a su impacto en el funcionamiento de la central, aunque en sí pueden causar problemas considerables. Las causas más prominentes de dicho tipo de paradas son:

#### **3.13.1 CAUSAS DE PARADAS DIFERIDAS**

- Fugas en el sistema de lubricación o en el sistema hidráulico.
- Fugas en el enfriador (aceite/ aire/ hidrógeno)
- Cambio en la calidad de respuestas o eficacia del sistema de control
- Mal funcionamiento de los instrumentos



- Mal funcionamiento de algún componente eléctrico, electrohidráulico o mecánico-hidráulico no crítico
- Cambio prolongado en el nivel de temperatura de los cojinetes
- Cambio prolongado en el nivel de las vibraciones
- Fuga de vapor

Los sistemas de información y las encuestas generalmente tienden a agrupar todas las paradas, con excepción de las planeadas con fines de mantenimiento, dentro de una misma clasificación. En esta forma, incluso casos legítimos de paradas diferidas pierden a veces su identidad. Esta mezcla de las clasificaciones no representa en realidad un problema, ya que los efectos tanto de las paradas forzosas como de las diferidas se reflejan en el resultado de los estudios generales de confiabilidad y disponibilidad. En todo caso, lo importante es identificar los elementos que requieren paradas diferidas para poder establecer medios para la corrección del diseño o de la explotación.

### **3.14 PARADAS PLANEADAS**

Las siguientes son las causas principales de las paradas planeadas de las unidades turbogeneradoras:

#### **3.14.1 CAUSAS DE PARADAS PLANEADAS**

- Abertura programada con inspección y mantenimiento completos
- Inspección y mantenimiento parciales o limitados programados
- Efectos de las prácticas de explotación de la central (depósitos, corrosión, etc.)

Históricamente, el tiempo de las paradas planeadas representa pérdida más grande en la disponibilidad de las unidades turbogeneradoras. Con las inspecciones principales, incluyendo una abertura de la turbina, programada cada tres años, el tiempo de las paradas planeadas variara, sobre una base anual prorrateada, desde aproximadamente 50 horas para una unidad de 5 000 kW., hasta aproximadamente 12 horas para una unidad de 40 000 kW. Evidentemente, en cualquier caso determinado, el tiempo de inspección es afectado en un grado considerable por las demandas de mantenimiento general de la central, la disponibilidad de piezas de repuesto, las condiciones laborales locales, y una variedad de otros factores.

Estas consideraciones externas pero muy reales hacen que la interpretación de los tiempos de paradas indicados en los estudios periódicos sea un proceso un tanto incierto, pero los tiempos indicados anteriormente parecen ser razonablemente representativos de los casos normales.

Los trabajos limitados de inspección y mantenimiento del turbogenerador se planean habitualmente para que coincidan con otras paralizaciones breves programadas de la central. Cuando planean debidamente como parte de un programa de mantenimiento total integrado de los turbogeneradores, las inspecciones parciales pueden representar un factor clave en la reducción de la duración de las inspecciones principales y en la prolongación de los intervalos entre inspecciones.

## **CAPÍTULO 4**

### **MANTENIMIENTO A TURBINA DE VAPOR BROWN BOVERI**

#### **4.1 INTRODUCCIÓN**

El objetivo del mantenimiento es recuperar la eficiencia más próxima posible a la de diseño, aunque como se sabe existen componentes que no se podrán regresarlos a las condiciones ideales, ya que el deterioro con el transcurso de los años es inevitable.

Los componentes que conforman la turbina de vapor son indispensables algunos fueron reemplazados y otros rehabilitados.

Mostrando en forma clara el desarrollo del mantenimiento y dar seguimiento efectivo al mantenimiento de turbina y asegurar así que cada componente quede en óptimas condiciones para su operación, se proporcionan: formatos de inspección que faciliten a mediano plazo la elaboración de un historial para dar seguimiento efectivo del mantenimiento y poder prolongar la vida útil del equipo, logrando con esto los resultados y la realización de los trabajos, así como la inspección, supervisión del mantenimiento mayor programado de la turbina de vapor.

#### **4.2 ANTECEDENTES**

En base a los programas de mantenimiento, la máquina quedó fuera de servicio. Por disposición de ACC a reserva fría. El día 05 de marzo del 2012 a las 06:53 horas. El Ing. Javier Menchaca otorga licencia 20110815-0344 para mantenimiento mayor por 90 días hasta 12 de junio 2012 a las 23:59

#### **4.3 DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES RELEVANTES**

- Instalación de rotor de alta presión rehabilitado por Cía. ALSTOM.
- Instalación de rotor de baja presión rehabilitado por Cía. ALSTOM.
- Instalación de rotor de presión intermedia rehabilitado por Cía. ALSTOM.
- Instalación de carcasa interna alta presión rehabilitado por Cía. Turbomáquinas.
- Instalación de carcasa interna presión intermedia nueva.
- Instalación de carcasa interna de baja presión nueva.
- Instalación de pistón de balance de alta presión (DUMY) rehabilitado.

- Desmontaje e inspección interna de chumaceras.
- Desmontaje e inspección y mantenimiento válvulas combinadas paro-control.
- Desmontaje e inspección y mantenimiento válvulas combinadas paro-interceptoras.
- Desmontaje e inspección mecanismo embrague tornaflecha.
- Mantenimiento general al sistema de enfriamiento del estator (retiro incrustaciones que provocan obstrucciones en tuberías de entrada y salida de agua de enfriamiento).
- Durante la puesta en servicio verificar el comportamiento dinámico del turbogenerador y determinar posible balanceo en línea.
- Limpieza de enfriadores de aceite de lubricación con sistema hidroneumático alta presión.



## **4.5 DESARROLLO**

### **4.5.1 ROTORES.**

#### **4.5.1.1. ROTOR ALTA PRESIÓN.**

El rotor de alta presión original de esta unidad se tenía en almacén revestido con cintillas de sellos nuevas. Esta rehabilitación e inspección fue realizada por Alstom. Durante este mantenimiento se instaló este rotor.

#### **4.5.1.2 ROTOR DE BAJA PRESIÓN.**

El rotor de baja presión que se instaló estaba de reserva en nuestro Almacén y antes de instalarlo fue rehabilitado. Le cambiaron la rueda de alabes completa L-1 lado gen y 25 alabes de las etapas L-0 (13 alabes lado gen y 12 alabes lado turbina). Se entregó balanceado de acuerdo al reporte entregado, pero fue necesario re-balancearlo en línea, ya que presentó muy altas vibraciones a baja velocidad. En este rotor la rueda L-1 fue necesario cambiarla debido a que tenía 3 alabes fisurados.

#### **4.5.1.3 ROTOR DE INTERMEDIA PRESIÓN**

El rotor de intermedia presión que se tenía rehabilitado era el de reserva que se había desmontado en el 2002. Este mismo se montó nuevo, en 1990. Estaba revestido con cintillas de sellos nuevas y con la rueda del paso 5 nueva.

### **4.5.2 CARCAZAS.**

#### **4.5.2.1. CARCAZA INTERNA DE ALTA PRESIÓN.**

La carcasa original de esta unidad se tenía revestida con cintas de sellos y con anillos de sellos en las conexiones de entrada de vapor, nuevos. Fue rehabilitada por la Cía. Turbomaquinas quienes también repararon la erosión que presentaba la junta horizontal lado entrada de vapor. Esta pieza fue la que se instaló al ser componente del mismo rotor que se montó.

#### **4.5.2.2 Carcaza interna de intermedia presión.**

La carcasa interna de intermedia presión fue instalada nueva.

#### **4.5.2.3 Pistón de balance alta presión.**

Fue instalado el pistón de balance original con todos los segmentos de sellos rehabilitados.

#### **4.5.2.4 Pistón de balance intermedia presión.**

Se instaló pistón de balance nuevo (carcasa y segmentos de sellos rehabilitados)

#### **4.5.2.5 Turbina de baja presión.**

Fueron instaladas carcasa interna y porta-alabes nuevos.

### **4.6 SELLOS DE EMPAQUETADURAS.**

Todos los anillos de segmentos de sellos de las empaquetaduras alta, intermedia baja presión fueron instalados nuevos.

### **4.7 CHUMACERAS.**

Durante el mantenimiento todas las chumaceras fueron desmontadas e inspeccionadas. Fueron instaladas nuevas chumaceras 1 y 2 en la sección de alta presión. Fueron ajustados los anillos soportes inferiores de cada una, verificando el contacto con azul de Prusia. La chumacera no. 1 no venía con sus cuñas de aceite y fue necesario enviarla a un taller externo para que se las hicieran. Los segmentos de la chumacera de empuje fueron instalados nuevos.

Los segmentos de la chumacera No.3 fueron instalados nuevos debido a que se encontraban con ralladuras profundas los segmentos desmontados.

### **4.8 VÁLVULAS PRINCIPALES**

#### **4.8.1 VÁLVULAS COMBINADAS PARO-CONTROL.**

Las 4 válvulas (a, b, c y d) fueron desensambladas totalmente, inspeccionadas y asentadas al 100 % en sus contactos.

Fue necesario cambiar los asientos fijos en las válvulas a y b, al encontrarse daños en el material stellite. Dado los desgastes encontrados en los vástagos de las válvulas de paro, así como fisuras en asientos móviles de las válvulas a, b y c fueron sustituidos. La válvula "d" fue reinstalada al encontrarse en buenas condiciones.

Los vástagos y asientos móviles de las válvulas de control también fueron sustituidos en las válvulas a b y c. fue reinstalada la válvula de control d.

Debido a que faltaban componentes menores internos de las válvulas, los componentes móviles fueron rehabilitados.

#### **4.8.2 VÁLVULAS INTERCEPTORAS.**

Se cambiaron los asientos móviles del lado paro y lado control de la válvula del lado derecho. En la válvula interceptora izquierda fueron re-instalados los mismos componentes. Ambas válvulas fueron inspeccionadas y asentadas con un contacto al 100%.

#### **4.8.3 OTRAS VÁLVULAS**

Fueron revisadas las válvulas de control de vapor de sellos a la turbina, la válvula de control de sellos al pistón de balance y la válvula de desfogue de vacío del condensador.

#### **4.8.4 VÁLVULAS DE NO RETORNO**

Durante el mantenimiento no fueron revisadas estas válvulas y serán revisadas en el próximo mantenimiento menor de la unidad.

#### **4.9 TORNAFLECHA.**

La tornaflecha de esta unidad fue desmontada, revisada e inspeccionada, sus componentes fueron re-ensamblados al encontrarse en buenas condiciones.

#### **4.10 PEDESTAL DE CHUMACERA NO.2**

Durante la verificación del alineamiento, en el proceso de montaje de la turbina de baja presión se verificó el centrado de las chumaceras No. 1, 2 y 3, tomando como inicio de centrado los pedestales fijos de la chumacera No 2 y 3.

Debido a que se detectó un descentrado del pedestal de la chumacera 2 de 0.35 mm fue necesario retirar las 2 cuñas-guías sobre las que se desplaza el pedestal.

Estas cuñas van alojadas entre las ranuras en la parte central de la base del pedestal y la placa de asiento fija. Dicha ranura o “cuñero” es continua en la base en la base del pedestal y en la placa de asiento mantiene un espacio no ranurado al centro, lo que hace que las cuñas tengan un tope al centro de la placa que las separa, quedando una de lado generador y la otra de lado gobernador.

En el desmontaje de las cuñas se detectó que no se tenía como una sola pieza como debería ser. Se encontró que la cuña lado gobernador estaba seccionada en 2 piezas y la cuña lado generador estaba en 3 piezas. Al presentar holguras excesivas entre la caja del pedestal las



cuñas se tomó la decisión de fabricar cuñas nuevas en material AISI 4140 a recomendación del personal de Alstom. De esta manera, el pedestal fue centrado con gatos hidráulicos colocadas las cuñas nuevas, dejando las holguras entre pedestal y cuñas de 0.020 mm.

#### **4.11 SISTEMA DE LUBRICACIÓN**

##### **4.11.1 BOMBA PRINCIPAL DE ACEITE**

La bomba principal fue desensamblada e inspeccionada, encontrándose en buenas condiciones los bujes, engranes y la chumacera de empuje. Se le instalaron sus empaques "o" nuevos y en material viton.

##### **4.11.2 BOMBAS DEL TANQUE PRINCIPAL DE ACEITE DE LUBRICACION**

Las 2 bombas de control de alta presión, la bomba de control de intermedia presión, la bomba auxiliar de lubricación y la bomba de emergencia fueron desmontadas, desensambladas e inspeccionadas. Se les cambiaron baleros, bujes y anillos "o" en material viton.

##### **4.11.3 ENFRIADORES DE ACEITE DE LUBRICACIÓN.**

Los enfriadores de aceite se desensamblaron para extraer los cuerpos entubados y realizarles limpieza en la parte interna del cuerpo (carcasa) en ambos enfriadores fueron sustituidas las cajas de agua ya que se encontraban en malas condiciones. Todos los empaques fueron sustituidos por componentes nuevos.

#### **4.12 GENERADOR PRINCIPAL.**

Al generador principal, se le realizó una revisión general, desmontado el rotor o campo. El departamento eléctrico realizó la limpieza interna y la inspección correspondiente. Los segmentos de las chumaceras, fueron sustituidas por piezas nuevas y los anillos de sellos de hidrógeno fueron sustituidos por piezas nuevas que se tenían de repuesto en el almacén.

#### 4.13 DESMANTELAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE LA TURBINA.

Retiro de cubiertas externas de turbina de vapor. (Figura 4.1)



*Figura 4.1 Retiro de cubiertas externas.*

Retiro de la tornillería (figura 4.2) de las cubiertas de vista de la turbina de vapor, logrando enfriamiento en zona del primer paso, hasta dejar turbogrupos en condición de flecha en reposo (100° C).



a)



b)

**Figura 4.2 a) Retiro de tornillería b) Retiro de tapa de chumacera número 2.**

Limpieza en las juntas horizontales (figura 4.3) de las carcassas inferiores y de las juntas verticales de las carcassas superiores, también de los porta alabes superiores esto para retirar el óxido e incrustaciones.



**Figura 4.3 Limpieza de las juntas horizontales y verticales.**

Retiro de la tapa de aceite de control (figura 4.4) para la maniobra de izaje, esto para verificación y cambio de empaques o ring internos, se encontraron deteriorados.



*Figura 4.4 Retiro de tapa de aceite de control.*

El rotor de baja presión de la turbina rehabilitado será instalado por rotor desmontado (figura 4.5).



*Figura 4.5 Rotor de baja presión retirado.*

Limpeza interna al tanque acondicionador de aceite (figura 4.6), como parte del mantenimiento mayor, se trasegó aceite del tanque principal a un tanque provisional.



*Figura 4.6 Limpieza en el interior del tanque acondicionador de aceite.*

Limpeza interna hidroneumática (figura 4.7) en los enfriadores de aceite de lubricación por compañía externa, se utilizó manguera de alta presión para la limpieza interna de los enfriadores.



*Figura 4.7 Limpieza en enfriadores de aceite.*

Previo al retiro de los rotores de alta y media presión se toman las medidas correspondientes para checar el alineamiento de los rotores (figura 4.8) y la separación que tienen con las carcasas inferiores, todos los datos se anotaron en las hojas correspondientes para tener un registro, después se procede a colocar indicadores de carátula de carrera larga en carcasa y rotor de alta presión.



*Figura 4.8 Toma de lecturas claros cintillas radiales y carcasa*

Mecanismo de la bomba principal (figura 4.9), para limpieza y revisión de internos.



*Figura 4.9 Mecanismo de bomba principal retirada.*

Los rotores de alta e intermedia presión (figura 4.10) se colocaron en sus soportes correspondientes.



*Figura 4.10 Rotores de alta e intermedia presión en sus soportes.*

Limpieza de las juntas horizontales y verticales de los porta alabes de las carcasa de los rotores de alta, intermedia y baja presión. También a los soportes de las chumaceras y de las empaquetaduras, figura 4.12.

Se procedió al desmontaje y limpieza (Figura 4.11) de la chumacera de carga axial número 2 ambos lados para revisión de componentes.



*Figura 4.11 Limpieza de componentes de chumacera 2.*



*Figura 4.12 Retiro de empaquetadora de sellos de la chumacera de carga No. 2.*

Maniobra para el retiro de porta alabes parte inferior del rotor de presión intermedia (figura 4.13), así también el retiro de la mitad inferior del porta alabes de alta presión, también se realizó el desmontaje del porta alabes central de turbina de baja presión.



*Figura 4.13 Maniobra para retiro del porta alabes inferior de rotor de presión intermedia.*



Desensamble del portador de alabes inferiores del rotor de alta e intermedia presión y se colocaron en soportes de madera y se unieron con los porta alabes superiores (figura 4.14).



*Figura 4.14 Se observan los porta alabes de intermedia y alta retirados.*

Limpeza de los soportes de las chumaceras de las juntas horizontales de la carcasa inferiores y superiores, así como también limpieza a boquillas de entrada de vapor (figura 4.15).



*Figura 4.15 Limpieza de soportes de chumaceras y de la boquilla de entrada de vapor.*

Limpeza por método de sandblasteo para rotores, porta alabes de baja presión y cajas de sellos para su posterior resguardo en almacén general.

Retiro de tornillería de las carcadas inferiores siendo necesario extraer algunos tornillos debido a que presentaron fractura, figura 4.16



*Figura 4.16 Retiro de tornillería fracturada*

Separación de los componentes de tobera de admisión de vapor del rotor de alta presión, así como limpieza general de componentes (figura 4.17).



*Figura 4.17 Limpieza de anillos de tobera de admisión de vapor.*

Se hizo la prueba de holguras de la nivelación de carcasa interior con respecto a la carcasa externa y las medidas son:

Lado Generador: norte/derecha 2.46 mm, sur/izquierda 2.28 mm.

Lado Turbina: norte/derecha 1.67 mm, sur/izquierda 6.88 mm.

Se desarmaron y se realizaron revisiones y pruebas de líquidos penetrantes a las chumaceras No. 1 y 2 (Figura 4.18), así como también se realizaron las mismas en la carcasa de alta presión.



*Figura 4.18 Desarmado y limpieza de chumaceras.*

Limpieza general a chumacera No.1 (Figura 4.19) para maquinar la cuña de aceite de acuerdo a datos de diseño del fabricante.



*Figura 4.19 Desarmado y limpieza de chumaceras.*

Lavado de los alabes fijos y las juntas horizontales del porta-alabes inferior del rotor de alta presión, así como la realización de maniobras de izaje de componentes de carcasa interna de turbina de presión intermedia, colocándola en soportes de madera, esto para su reemplazo por pieza usada.



**4.20 Maniobra y colocación en soporte de madera de porta alabes superior.**

Limpeza interna de las válvulas de paro y control A, B, C, D, E y F de la turbina como parte del mantenimiento mayor, esto se realiza con piedra y trapo para retirar el óxido y basura que se encuentre, también se limpiaron las juntas de las carcasa, así como el interior de las válvulas de control A, B, C Y D (figura 4.21).



**Figura 4.21 Limpieza de válvulas de paro y control.**

Se desensamblaron los componentes internos de la válvula combinada de vapor recalentado “A” se calentó zona para poder retirar el tornillo (figura 4.22).



*Figura 4.22 Calentamiento de la zona para retiro de tornillería.*

Limpeza en la parte interna de las válvulas de paro y control (A, B, C, D, E y F) de la turbina.

Retiro de la soldadura (figura 4.23) y de la rondana de fijación de vástago de la válvula interceptora “F” y se procedió a desmontar y hacer limpieza de las válvulas de control (figura 4.24).



*Figura 4.23 Retirando soldadura de la válvula interceptora F.*



*Figura 4.24 Limpieza de válvulas de paro y control.*

Limpieza de los asientos móviles de las válvulas interceptoras (figura 4.25).



*Figura 4.25 Limpieza en los asientos móviles.*

De la válvula combinada “A” se encontró una fisura en el asiento de esta, en la B se encontró el asiento con una sección desprendida, se deben de retirar los asientos dañados (figura 4.26), se calentó el cuerpo y se extrajeron asientos fijos de válvula, en válvula “A” y “B”, se retiró con maniobra multiflama.



***Figura 4.26 Retiro de asientos fijos válvulas de control.***

Se desarrolla la lubricación general de tornillería a las válvulas de paro y control (figura 4.27)



***Figura 4.27. Lubricación en tornillería de válvulas de control.***

De las válvulas que se cambiaron, se tomaron las lecturas de los asientos nuevos de las válvulas de control para su maquinado por la Cía. TASAMA.

También se dimensionaron los asientos fijos de válvulas de control A y B. (Usados) Tabla 4.1 y 4.2 respectivamente.

**Tabla 4.1 Dimensionamiento de válvula de control A**

<b>Diámetro exterior A</b>	<b>Diámetro interior A</b>
A= 12,122” - 307.92 mm	A= 12,153” - 308.68 mm
B= 12,118” - 307.79 mm	B= 12,135” - 308.22 mm

**Tabla 4.2 Dimensionamiento válvula de control B**

<b>Diámetro exterior B</b>	<b>Diámetro interior B</b>
A= 12.099” – 307.31 mm	A= 12.130” – 308.10 mm
B= 12.101” – 307.36 mm	B=12.116” – 307.74 mm

En los filtros de las válvulas interceptoras, se realizó una prueba de partículas magnéticas, de la cual la prueba número 1 está bien y en la segunda prueba se encontró una fisura extrema, reemplazándose la rejilla dañada.

Se realizaron pruebas de líquidos penetrantes a internos de la válvula combinada VR (vapor recalentado) obteniendo resultados satisfactorios.

Se procedió con la limpieza de las válvulas de paro y control “E” (Figura 4.28).



**Figura 4.28 Limpieza en válvula interceptora “E”.**



Aquí se muestra la colocación de la tapa de la válvula interceptora “F” (Figura 4.29) para asentar los asientos móviles.



*Figura 4.29 Colocación de tapa de válvula interceptora.*

Lavado de filtros, de los cuerpos de las válvulas combinadas A, B, C y D esto con aire comprimido (Figura 4.30).



*Figura 4.30 Limpieza de filtros y cuerpos de válvulas.*

Asentando los cojinetes internos de los componentes móviles de las válvulas interceptoras E y F (figura 4.31).



*Figura 4.31 Asentando las válvulas interceptoras.*

Se ejecutaron las pruebas de contacto en las válvulas de control A, B, C y D, para asentar y tener 100% de contacto (Figura 4.32).



*Figura 4.32 Prueba de contacto a válvula "B"*

Se desmanteló el mecanismo principal bomba principal aceite de lubricación, para reemplazaron o ring dañados por uso continuo, figura 4.33.



*Figura 4.33 Desensamble del mecanismo principal de la bomba de aceite.*

Limpieza y mantenimiento de las empaquetaduras del pistón de balance (figura 4.34).



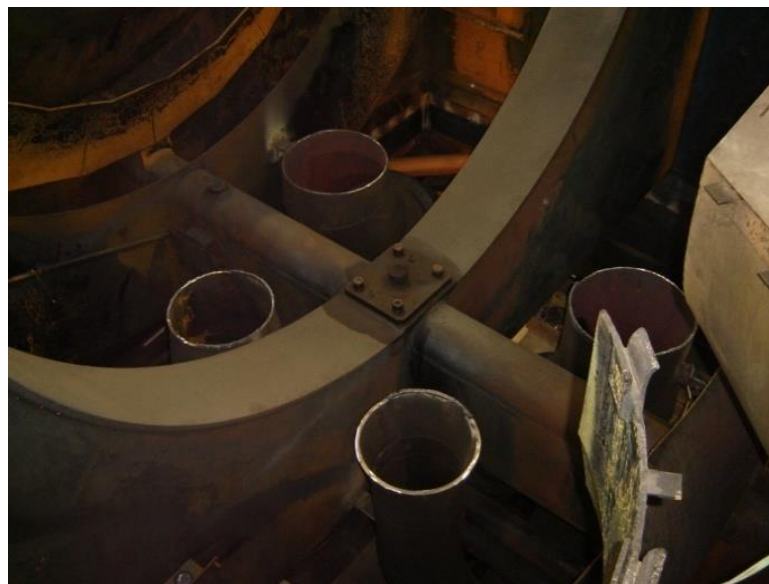
*Figura 4.34 Retiro de sellos de las empaquetadoras.*

Se niveló y se retiró de la carcasa inferior del rotor de baja presión (figura 4.35).



*Figura 4.35 Retiro de la carcasa inferior del rotor de B.P.*

Esta es la maniobra de izaje de la carcasa inferior, en la cual se tuvieron que realizar cortes en los ductos de sangrado a extracción de baja, en la imagen de la figura 4.36 se observan los ductos de escape cortados en la junta de soldadura con la carcasa inferior del rotor de baja presión.



*Figura 4.36 Corte de los sangrados a extracciones de baja presión.*

Después de esto se procedió a la limpieza general de los rotores de alta e intermedia presión (figura 4.37), así como sus alabes.



*Figura 4.37 Limpiezas de los rotores de alta e intermedia presión.*

Maniobra de izaje para colocar la carcasa inferior del rotor de baja presión (figura 4.38).



*Figura 4.38 Maniobra de izaje de la carcasa inferior de rotor de baja.*

Ensamble de chumacera número 3, maniobras de ajuste y prueba de contacto para logra ensamblar (figura 4.39).



*Figura 4.39 Maniobra de izaje para colocar chumacera 3.*

Se verifico la alineación de la base del rotor de baja presión (figura 4.40).



*Figura 4.40 Alineación en zona de baja presión.*

En la carcasa exterior de baja presión se realizó la limpieza requerida en zona de guías laterales, adjuntamente se limpiaron las guías de control radial, se desmontó la calza para realizar la limpieza.

CIMEX realizo inspecciones con partículas magnéticas a 4 filtros usados de las válvulas A, B, C, y D se encontraron pequeñas indicaciones en zonas de mangas, se desvanecen ligeramente, y en los filtros nuevos.

Colocación de sellos nuevos en turbina de alta presión se toman medidas para verificar su alineación (Figura 4.41).



*Figura 4.41 Toma de medidas a los sellos.*

Se realizaron los estudios de altimetría (Figura 4.42) en las carcasas principales inferiores de la turbina.



*Figura 4.42 Toma de altimetría.*



Se corrobora la alineación de la carcasa principal inferior del rotor de baja presión (Figura 4.43), esto se realizó con porta alabes retirado.



*Figura 4.43 Alineación de carcasa de baja presión.*

Ajuste de las cuerdas de los rotores de alta y presión intermedia (figura 4.44).



*Figura 4.44 Refrescando cuerdas del rotor.*

Preparación de tobera y habilitación de barrenos de 8 mm en tobera de primer paso (figura 4.45).



*Figura 4.45 Preparación de tobera de admisión de vapor.*

Ensamble de juegos de sellos en cajas de turbina alta presión, y se les toman medidas para verificar alineamiento (figura 4.46).



*Figura 4.46 Toma de medidas de sellos en empaquetadoras.*

Se ratificó el ajuste de pistón de balance y se retiraron 0.10 mm de lanas de tobera, en carcasa inferior parte fija, ajuste para libre instalación de rotor con tobera.

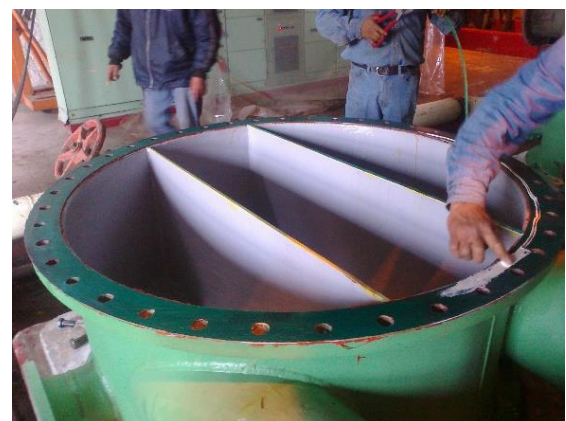
Se colocaron lanas faltantes lado izquierdo del gobernador, del lado izquierdo quedó 0.678", y del lado derecho quedaron 0.226".

Desmonte de las bases de los cabezales de agua de enfriamiento entrada/salida del enfriador de aceite de lubricación (Figura 4.47), con la finalidad de reemplazar cabezales nuevos de entrada y salida agua de enfriamiento, se fabricaron cabezales de entrada y salida nuevos.



*Figura 4.47 Retiro de cabezales de agua de entrada/salida enfriamiento agua de circulación.*

Se rehabilitó empaque laminado de protección de tapas de enfriadores de aceite de lubricación (figura 4.48), así como fabricación de juntas en cabezales de entrada y salida agua de enfriamiento.



*Figura 4.48 Empaque laminado para cabezal entrada agua enfriamiento a enfriadores de aceite*

La maniobra de izaje para colocar el rotor de alta presión (figura 4.49) junto con la tobera en su lugar, esto para tomar medidas y verificar alineación.



*Figura 4.49 Maniobra para colocar rotor de alta.*

La reparación y la aplicación de soldadura en mamparas que se encontraron dañadas en la parte inferior de la turbina baja presión se muestra en la figura 4.50, ya que presentaron demasiadas fisuras, dejando estas reparadas.



*Figura 4.50 Realizando cortes en láminas para su mantenimiento.*

El personal de Alstom externa realizó estudios de altimetría para verificar la nivelación y alineación de la carcasa inferior del rotor de baja presión (Figura 4.51).



*Figura 4.51 Toma de altimetría en carcasa inferior de baja presión.*

Se efectuó mantenimiento de internos de la bomba auxiliar de aceite de lubricación (Figura 4.52), ya que salió dañado el cojinete y la manga, fueron reemplazados componentes dañados.



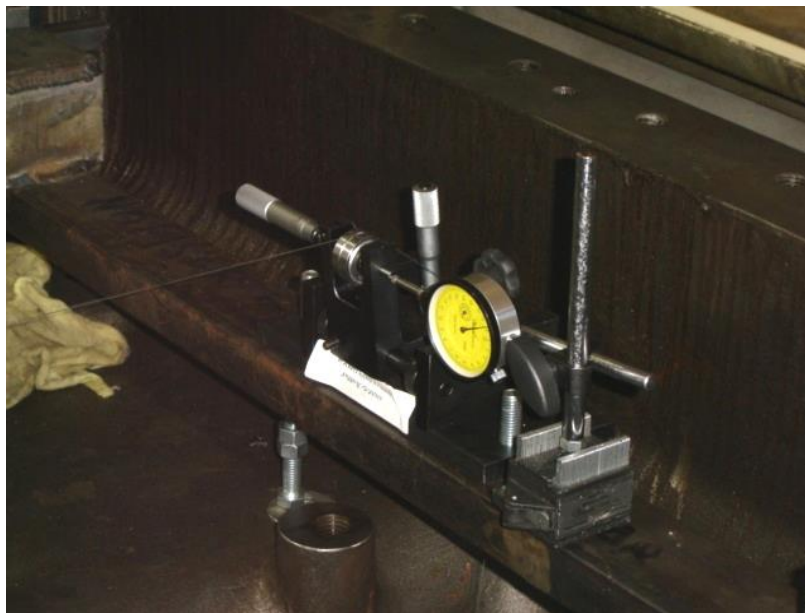
*Figura 4.52 Mantenimiento general bomba auxiliar de lubricación, se cambiaron componentes dañados.*

Se procedió al desensamble y limpieza de pernos de centrado de carcargas de alta e intermedia presión (Figura 4.53), se dimensionaron y se dejan datos en formato correspondiente.



*Figura 4.53 Limpieza de pernos de centrado.*

El personal de Alstom realizó centrado de alambre de piano (Figura 4.54), se verifica alineamiento de los rotores de alta, intermedia y baja presión.



*Figura 4.54 Alineación con alambre de piano.*

Se niveló el porta alabes lado gobernador del rotor de baja presión (Figura 4.55), para dejar centrado y nivelado.



*Figura 4.55 Montaje de componentes turbina de baja presión para medición y alineación.*

El personal de Alstom tomó las lecturas de la carcasa interna de baja presión con alambre de piano y verificó nivelación y alineamiento (Figura 4.56).



*Figura 4.56 Colocación y toma de lectura de porta-alabes.*

Se desplazó el pedestal de acuerdo al requerimiento, del lado izquierdo lado generador se solicitaba 3.38 mm y se movió 3.20mm, de lado derecho lado generador se solicitaba 2.48 mm y se movió 2.70 mm y por la maniobra el pedestal se movió 0.005” o 0.12 mm (figura 4.57).



*Figura 4.57 Movimiento de pedestal con porta-power.*

Se tomaron las lecturas de posición del rotor de presión intermedia y alta (Figura 4.58), se dejan los datos plasmados en los formatos correspondientes.



*Figura 4.58 Mediciones a rotor de turbina de vapor.*



Aquí se ve la maniobra de izaje para la extracción y el retiro del rotor de presión intermedia (figura 4.59).



*Figura 4.59 Retiro de rotor de presión intermedia.*

Al rotor de alta presión se le colocaron los pines faltantes de la tobera y se realizó limpieza en la zona de alabes, también se le retiraron los anillos de los sellos de la tobera para realizar la limpieza general (figura 4.60).



*Figura 4.60 Retiro de anillos de tobera.*

Mantenimiento integral al servo de los actuadores de las válvulas de control A, B, C, D, E y F, se reemplazaron los “o” ring de los actuadores de válvulas de control e interceptoras (figura 4.61).



*Figura 4.61 Limpieza de actuador de válvula.*

Limpieza del pedestal de la chumacera número 2, donde se retiraron las guías del pedestal del lado generador eléctrico y del lado gobernador.



*Figura 4.62 Retiro de guías axiales de pedestal chumacera núm. 2 lado gobernador.*

Limpieza e izaje del rotor de baja presión para su colocación y verificar alineaciones (figura 4.63).



*Figura 4.63 Alineación y colocación de rotor de baja.*

Desarme y la limpieza de la bomba de aceite de presión intermedia, como también se cambiaron componentes dañados.



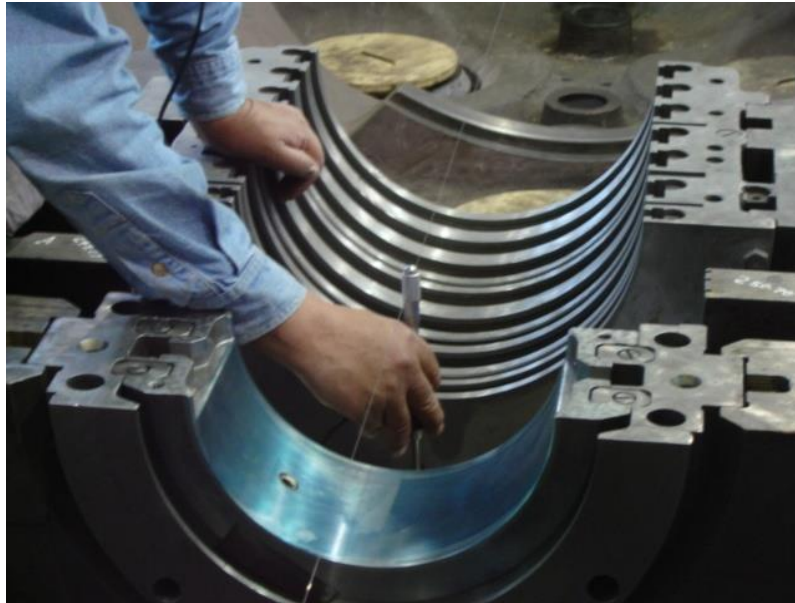
***Figura 4.64 Desensamble de bomba presión intermedia.***

Se tomaron dimensiones de centrado con alambre de piano en el pedestal de la chumacera número 2 (figura 4.65).



***Figura 4.65 Toma de dimensiones de centrado.***

Personal de Alstom hizo el montaje de los plomos en la zona de sellos 5 y 6, también se prepararon y se realizó el montaje del rotor de baja presión. También se verificaron las medidas de alineación con cuerda de piano (figura 4.66).



*Figura 4.66 Verificación de medidas con cuerda de piano.*

Limpieza previa a la colocación de los anillos de los sellos de la tobera del rotor de alta presión (figura 4.67).



*Figura 4.67 Armado de anillo de sellos de tobera 1er paso.*

El equipo de Alstom efectuó las maniobras de izaje para colocar las carcassas porta alabes en el rotor de baja presión (figura 4.68).



*Figura 4.68 Colocación de porta alabes en rotor de baja.*

También se preparó y se efectuó la maniobra de izaje para colocar la carcassa del rotor de presión de intermedia (figura 4.69) para tomar lecturas y alinear carcassas.



*Figura 4.69 Carcassa de presión intermedia.*

Personal realizó el centrado de la carcasa interna, donde se soldó la junta de expansión a brida.



*Figura 4.70 Junta de expansión carcasa de baja presión.*

Se cumplió con el ajuste axial y radial a la carcasa de presión intermedia para dejar la carcasa interior de acuerdo a diseño (figura 4.71).



*Figura 4.71 Ajuste de carcasa de P.I.*

Se llevó a cabo el maquinado del Porta-alabes en ambos lados para realizar ajuste en superficie de contacto (figura 4.72).



*Figura 4.72 Maquinando y colocación de porta alabes por parte de ALSTOM*



Alstom concluye con apriete de tornillería de carcasa de baja presión, con esto los trabajos de esta Cía. son finalizados (figura 4.73).



*Figura 4.73 Personal de ALSTOM finalizando trabajo*

Se procede con el montaje de carcasa interna A.P. (Alta presión) (Figura 4.74) y se le colocaron plomos de 2.0 mm intercalados en cajas de sellos 2 y 3.



*Figura 4.74 Montaje de carcasa interna A.P.*

También se ensambla la caja de sellos de pistón de balance en cilindro interno de presión intermedia. (Mitad inferior)



*Figura 4.75 Colocando caja de sellos.*

En la carcasa interior de la turbina de presión intermedia mitad inferior se ajustó el tornillo de cabeza Allen y se candaeo con alambre.



*Figura 4.76 Parte inferior de la carcasa de la turbina I.P.*

Se efectuó el montaje de cilindro interno inferior (Figura 4.77).



*Figura 4.77 Montaje de cilindro interno inferior I.P.*

Se apretaron los birlos del centro hacia los extremos siguiendo así con los que hacían falta, el apriete se realizó con resistencia eléctrica y marro de acuerdo a arco de diseño (Figura 4.78 y 4.79).



*Figura 4.78 Apriete de birlos en carcasa de A.P.*



*Figura 4.79 Resistencia utilizada para apriete con calor.*

Se fue desplazando rotor 0.050" y carcasa 0.050" hasta obtener el claro de 2 mm. Entre caras de coples.



*Figura 4.80 Desplazamiento de rotor.*

Se ejecutó la revisión en el engrane de torna flecha observando un giro libre.



*Figura 4.81 Revisión de engrane de la torna- flecha.*

Montaje de las líneas de vapor de entrada de presión intermedia., con guías y apriete de su tornillería (figura 4.82).



*Figura 4.82 Ajuste y verificación de holguras axiales de chumacera núm. 2*

Montaje y ajuste de la chumacera 2 (figura 4.83).



*Figura 4.83 Ajuste de chumacera 2.*

La instalación del crossover al cual se le colocó una junta y se procedió a colocarlo (figura 4.83).



*Figura 4.83 Colocación de junta en crossover*

Instalación de las líneas de goteo en las chumaceras de carga y de los 6 tornillos axiales con su respectivo apriete. Figura 4.84



*Figura 4.84 Instalación de chumacera 1 (carga)*

En la chumacera 2 se efectuó el centrado de deflectores de aceite.



*Figura 4.85 Centrado de deflectores en chumacera 2.*

Montaje y ajuste de las chumaceras 1 y 2 (Figura 4.86).



*Figura 4.86 Ajuste de chumaceras 2 y 3*





*Figura 4.87 Toma de lecturas después de mover el generador eléctrico.*

Se procedió al apriete de los coples núm. 1, 2 y 3 con una elongación controlada.



*Figura 4.88 Apriete de pernos en el cople núm. 2*

Ajuste en tapa de la chumacera 2 (figura 4.90), en coordinación con departamento de instrumentación y control para la calibración del sensor de desplazamiento axial.



*Figura 4.90 Apriete de la tapa de la chumacera 2.*

En la torna flecha se realizaron las siguientes actividades.

- Se niveló base y se fijó.
- Se alineó motor-transmisión (Figura 4.91).
- Se acopló el motor.



*Figura 4.91 Alineamiento de motor de torna flecha*

Instalación del cubre coples 1 y 2 (Figura 4.92).



*Figura 4.92 Instalación de cubre coples número 2*

Personal de PRIBRISA inicia trabajos de aislamiento térmico en turbina.

Armado de la estructura de la turbina (figura 4.93).



*Figura 4.93 Armado de estructura de turbina.*

## DISCUSIÓN

El acelerado crecimiento demográfico en México, ha incrementado la demanda de energía eléctrica, ya que se exige cada vez más suministro de energía necesaria para la forma de vida moderna.

De éste modo surge la necesidad de construcción de un mayor número de plantas generadoras, lo cual resulta muy costoso y requiere de mucho tiempo para su construcción.

Las plantas de generación de energía eléctrica, no siempre se encuentran trabajando al 100% de su capacidad, y entre otras razones, esto se debe a las fallas que presentan sus componentes; tal es el caso de las turbinas de vapor. Si las fallas no son detectadas a tiempo, esto ocasionara las salidas forzadas de las unidades y por ello se verá afectado e interrumpido el Sistema Eléctrico Nacional y por lo tanto las industrias y población.

Las fallas, paros forzados o cualquier condición anormal de funcionamiento en las turbinas de vapor, pueden evitarse por medio de inspecciones a las máquinas.

Para detectar éstas fallas es necesario realizar una inspección integral en las turbinas de vapor, lo cual permite identificar la vida útil del material de sus componentes y con esto programar la sustitución de éstos materiales en programas de mantenimiento preventivo, y de ésta forma garantizar el suministro de energía dentro del Sistema Eléctrico Nacional.

## CONCLUSIONES

Después del trabajo realizado se pueden establecer las conclusiones siguientes:

- Evaluar frente a las condiciones de espesor de líneas en cada mantenimiento a las de diseño las secciones afectadas por la erosión-oxidación e incrustación en líneas de agua de enfriamiento a auxiliares.
- En los componentes de turbina que están expuestos a fricción y trabajo continuo seguir monitoreando en cada mantenimiento que se presente, para evaluar su estado físico por pérdida de material (metal base) por el mecanismo de erosión, oxidación e incrustación por trabajo continuo, es recomendable seguir el comportamiento dimensional así como evaluar con lo establecido en diseño y/o el fabricante.
- Las grietas detectadas en las soldaduras de unión entre carcasas, se recomienda eliminarlas mediante desbaste mecánico y recuperar material mediante el aporte de soldadura dicha reparación debe ser supervisada e inspeccionada mediante pruebas no destructivas.
- Dar seguimiento a la realización de inspecciones mediante pruebas no destructivas, durante los mantenimientos programados.

## BIBLIOGRAFÍA

1. México, Comisión Federal de Electricidad (1994). Introducción a Centrales Termoeléctricas (1ª. Edición), Linares López, Raúl - Encinas Montes, Santiago: Autor.
2. Mataix, Claudio, Autor (2000). Turbomáquinas térmicas: Turbinas de vapor, turbinas de gas, turbocompresores., Madrid: CIE-DOSSAT 2000
3. México, Comisión Federal de Electricidad (1994). Generador de vapor, Tomo 1 (1ª. Edición), Cuevas Madrigal, José Luis-Hernández Ayala, Luis Carlos: Autor.
4. Bloch, Heinz P. (1993). Guía práctica para la tecnología de las turbinas de vapor, México: McGraw-Hill, c1998.
5. Polo Encinas, Manuel, Turbomáquinas de fluido compresible: turbocompresores, turbinas de gas, turbinas de vapor, México: Limusa c1984.
6. Gutiérrez de Rozas Salteráin, J. L. Turbomáquinas térmicas: teoría y problemas, Bilbao: Universidad del país vasco, servicio editorial, 2006.
7. Beltrán Pulido, Rafael. Conversión térmica de energía, Bogotá, Colombia: Universidad de los andes, Facultad de Ingeniería: Ediciones Uniandes, 2008.
8. Mataix, Claudio, Autor. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas., México, D.F.: Oxford University Press: Alfaomega, 2005, c1982.
9. Aguilar Rodríguez, Martiniano. Criterios de diseño de plantas termoeléctricas, México: Limusa, c1981.
10. Sánchez Naranjo, Consuelo. Tecnología de las centrales termoeléctricas convencionales., Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2010

## ANEXOS



DIVISIONE INGRESO EICOM  
Reporte No.: CIM-CI/VM-01-ds/05/2011  
Página 1 de 11

Cliente:	<u>CIELE VALLE DE MEXICO</u>	Proyecto:	<u>Unidad No. 4</u>
Pedido:	<u>Supervisión de soldadura</u>	No.:	<u>        </u>
Inspección efectuada en:	<u>Tuberías de extracción de baja presión de la carcasa externa inferior de la turbina de vapor U-4</u>		
Realizada por:	<u>Personal de CIMEX</u>	Fecha:	<u>20 de 24 de Septiembre 2011</u>
En presencia de:	<u>Ing. Magdalena Felidana Simón</u>		<u>Supervisor del Departamento Mecánico</u>

### REPORTE DE INSPECCIÓN

A solicitud de personal supervisor de CIELE se presenta personal de CIMEX (Ing. Juan Humberto Basión Cruz) para realizar los trabajos de inspección y supervisión de soldadura durante la sustitución de la carcasa externa inferior de baja presión (corte de tubería de extracción de vapor e instalación de juntas de expansión en carcasa superior de baja presión)

20 Septiembre 2011

**Componente:** tubería de extracción de baja presión

#### Inspección Visual:

- Se verifica el corte de las líneas de extracción de baja presión (inferiores) en la carcasa externa inferior de la sección de baja, estas actividades son realizadas por el personal de CIELE (Sr. José Luis Vanegas)
- Estos cortes de soldadura son realizados para extraer la carcasa externa inferior de baja presión y sustituirla por otra nueva.
- Únicamente se chequean cortes de las 4 tuberías de extracción y biseles de las mismas.
- Se realiza inspección a las soldaduras de unión de estas tuberías mediante la técnica de líquidos penetrantes.

---

compañía de inspección mexicana, s.a. de c.v.

Av. Polanco 1500, s/n  
C.A. Anáhuac  
P.O. Box 10000 México  
C.P. 06702  
México D.F.

Teléfono:  
52 55 19 22 2225 1924  
52 55 17 01 2010 1820  
Fax:  
52 55 19 25 2010 1828

Info@ciex.com.mx  
ciex@ciex.com.mx

A continuación se muestran fotografías obtenidas durante la inspección.



Fotografías No. 1, 2, 3 y 4

Imágenes obtenidas durante el corte de las tuberías de extracción de la cámara externa interior de baja presión

compañía de inspección mexicana, s.a. de c.v.

Cv. Prolongación 200  
 1548 - Anáhuac  
 Deleg. Miguel Alemán  
 C.P. 11504  
 México, D.F.

Teléfono:  
 52 55 55 25 47 50 1474  
 52 55 51 71 52 55 23 42  
 Fax:  
 52 55 55 25 47 50 1474

info@cimex.com.mx  
<http://www.cimex.com.mx>



### Bridas de acoplamiento de la carcasa externa superior de baja presión

A petición de CHE se realizan actividades de inspección y supervisión de soldadura, durante la instalación de la bridas de acoplamiento en la carcasa externa superior de baja presión

- Mediante la técnica de líquidos penetrantes se examinan las soldaduras de unión de las bridas de acoplamiento, con las juntas de expansión de la carcasa externa superior de baja presión



Fotografías No. 1 y 2

Imágenes obtenidas de las bridas de acoplamiento (nuevas), Lado Norte y Sur, en las cuales se examinan las soldaduras de unión de la brida con la junta de expansión

compañía de inspección mexicana, s.a. de c.v.

Ay. Carillo Nacional 30  
Zona Remera  
Deleg. Miguel Hidalgo  
C.P. 11590  
México D.F.

Teléfono:  
52 55 12 22, 52 55 12 24  
52 55 17 77, 52 55 20 42  
Fax:  
52 55 12 22, 52 55 12 24

correo electrónico:  
<http://www.cimex.com.mx>



Fotografías No.3 y 4

Imágenes obtenidas de las soldaduras de unión de las bridas de acoplamiento (nucos) con las juntas de expansión (lado Norte y sur) de la carcasa externa superior, examinadas mediante la técnica de líquidos penetrantes, la cual no revela la existencia de discontinuidades de material provenientes de grietas.

compañía de inspección mexicana, s.a. de c.v.

Av. Ejército Nacional 491  
Del Financiero  
Ciudad de México, México D.F.  
C.P. 06702

Teléfono:  
52 55 57 22 02 09 19 04  
52 55 57 21 07 00 00 00  
Fax:  
52 55 57 21 07 00 00 00

info@cinex.com.mx  
<http://www.cinex.com.mx>



Fotografías No. 5, 6, 7 y 8

Imágenes obtenidas de las soldaduras de unión de las bridas de acoplamiento (nuevas) con la carcasa externa superior de baja presión, estas soldaduras fueron examinadas mediante la técnica de líquidos penetrantes, la cual no revela la existencia de discontinuidades de material provenientes de grietas, pero se observaron pequeñas ranuras, estas actividades fueron realizadas por personal de ALSTOM (Monterrey)

Cimex cuenta a personal de ALSTOM (Monterrey), que se realice la remoción de estos daños mediante medios mecánicos, estas actividades de remoción son realizadas por este personal. Con estas actividades se concluyen estos trabajos de inspección y supervisión.

Año: Ing. Juan Humberto Bastón Cruz  
 Supervisor-Inspecciones en Servicio.

compañía de inspección mexicana, s.a. de c.v.

Av. Cárdenal 30  
 Col. Anzures  
 Deleg. Miguel Alemán  
 C.P. 11520  
 Monterrey

Teléfono:  
 52 56 10 22 52 56 10 21  
 52 56 11 11 52 56 20 42  
 Fax:  
 52 56 10 19 52 56 10 21

Info@cimex.com.mx  
<http://www.cimex.com.mx>



<b>ALSTOM</b>	Unidad: Operación de Turbina de Baja Presión	Reporte No: <b>SC-SC1-0028</b>
<b>RSC</b>	Autor: Antonio Rodríguez	Fecha: 7/11/2011 Página: 4 / 12

## 6 Actividades Realizadas.

### 6.1 Preparación de componentes

Se realizó el ensamblaje de todos los componentes de la turbina UP, a mayoría de ellos se compratarán por que más de reciente fabricación, como son: Carcasa interna, porta-alabes 1, 2 y 3, juntas de expansión y el rotor se sincronizará reutilizando. En caso de con el Cliente se define los puntos de referencia para la ubicación del tron de soporte (Figuras 1 y 2), que se le cubre la turbina UP de acuerdo a como referencia.

### 6.2 Prueba TOP-ON y TOP-OFF

Decido a que la mayoría de los componentes sean traídos con el proceso es necesario realizar la prueba de TOP-ON y TOP-OFF para determinar el comportamiento de la carcasa para el control de dilatación cuando están. Para la prueba se hace necesario montar los componentes inferiores y superiores incluyendo la carcasa interna, además se utiliza equipo de control de sensores con hilo de plomo para determinar los movimientos de todos los componentes de BP.

### 6.3 Presentación de Rotor BP

Trabaja con los componentes relacionados descritos. Se ajustan el rotor BP para hacer la verificación del montaje através de los datos relativos y ajuste entre el rotor - Carcasa. Los datos relativos interiores y superiores fueron verificados con la ayuda de la unidad de medida. Para esta unidad fue necesario retirar el rotor para ver para asegurar un ajuste a los puntos dados y guardar dentro de tolerancia indicada.

### 6.4 Cierre de porta-alabes superiores

Una vez presentado el rotor de BP se procede a realizar el cierre de a turbina a través de los puntos superiores de la porta-alabes y carcasa interna. Durante el cierre se verifica el montaje con los rotos, rotos, (con el fin final actual). La limpieza interna de la turbina no debe ser aceptable, aplicación de banda adhesiva para el sellado de la junta, cantidad de carcasa, bloque de a bombas de la junta, cantidad alabes, etc. etc. etc.

### 6.5 Montaje de la cara axial de los porta-alabes superiores 1 y 3.

Durante la presentación de la carcasa exterior superior BP se concierne que cuando interviene en ambas componentes. Por lo tanto se requiere superior elemento. Después de presentar se requiere montar componentes. Se realiza el montaje en sitio con la ayuda de a herramienta normal y herramientas de ajuste. El montaje se realiza con la ayuda de la herramienta normal y herramienta para el ajuste de la junta, cantidad de carcasa, bloque de a bombas de la junta, cantidad alabes, etc. etc. etc.

### 6.6 Cambio de juntas de Expansión

Por solicitud del cliente, se procedió a retirar la instalación de las juntas de expansión nuevas. Para se requiere realizar a las dos turbinas usadas. Se realiza cada el proceso para hacer el cambio y hacer las verificaciones de montaje por personal de Client. (Ayuda simultánea). Una vez efectuadas las instalaciones se las nuevas juntas de expansión se verifica la conformidad de las juntas de expansión y la carcasa exterior y el tubo de LRUSS OVLK.

### 6.7 Cierre de componentes

Porque a las verificaciones realizadas y maquinados necesarios, se procede a realizar el cierre definitivo de la turbina de BP. En realizar todos el cierre correcto de los porta-alabes primer superior, colocación de carcasa interna superior. Ayuda de la herramienta normal de a carcasa exterior superior, cantidad de ajuste pendiente de los puntos pendientes de ajuste en las (ITEM alabes).

<b>ALSTOM</b> <b>RSC</b>	Objeto: Instalación de Turbina de Baja Presión		Reporte No. <b>SC-SC1-0028</b>	
	Autor: Arturo Rodríguez	Departamento: Servicio en Campo	Fecha: 27/1/2011	Página: 8 / 19

13 Apéndice

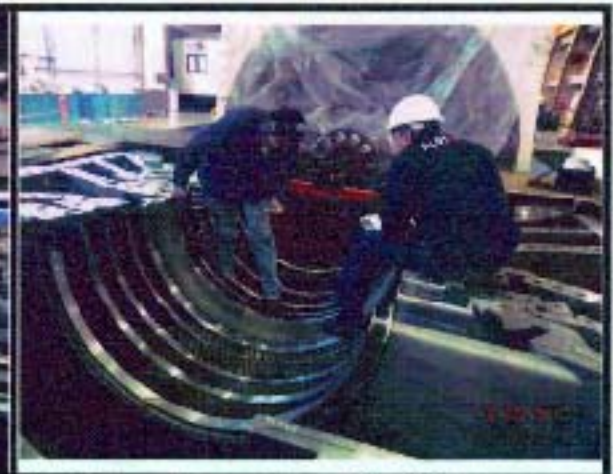
	
Ubicación / Sistema: Sistema BP 04	Ubicación / Sistema: Sistema BP 04
Apéndice No. 2	Apéndice No. 2
Descripción: Condensador inicial de la Turbina BP	Descripción: Componentes por reemplazar

	
Ubicación / Sistema: Sistema BP 04	Ubicación / Sistema: Sistema BP 04
Apéndice No. 2	Apéndice No. 4
Descripción: Carroza soporte inferior en proceso de fabricación	Descripción: Hacer BP

<b>ALSTOM</b>	Unidad: Instalación de Turbina de Baja Presión		Reporte No. <b>SC-SC1-0028</b>	
	<b>RSC</b>	Autor: Arturo Rodríguez	Departamento: Servicio en Campo	Fecha: 7/11/2011
				Página: 9 / 12



Unidad / Sistema	<b>Turbina BP U4</b>
Apéndice No.	<b>5</b>
Observaciones	<b>Condiciones de TOP ON</b>



Unidad / Sistema	<b>Turbina BP U4</b>
Apéndice No.	<b>6</b>
Observaciones	<b>Condiciones de TOP OFF</b>



Unidad / Sistema	<b>Turbina BP U4</b>
Apéndice No.	<b>7</b>
Observaciones	<b>Carcasa interna superior usada</b>



Unidad / Sistema	<b>Turbina BP U4</b>
Apéndice No.	<b>8</b>
Observaciones	<b>Carcasa interna superior nueva sin juntas exp.</b>

<b>ALSTOM</b>	Unidad Instalación de Turbina de Baja Presión		Reporte No. <b>SC-SC1-0028</b>	
	<b>RSC</b>	Autor Arturo Rodriguez	Departamento Servicio en Campo	Fecha 7/11/2011
			Página 10 / 12	

	
Unidad / Sistema Turbina BP 10	Unidad / Sistema Turbina BP
Aplicación No. 0	Aplicación No. 00
Observaciones Reparación de arbol, juntas de expansión	Observaciones Instalación final del cuerpo, juntas de expansión

	
Unidad / Sistema Turbina BP 10	Unidad / Sistema Turbina BP 10
Aplicación No. 00	Aplicación No. 00
Observaciones Cableado de rotor BP	Observaciones Cierre de parte estator superior

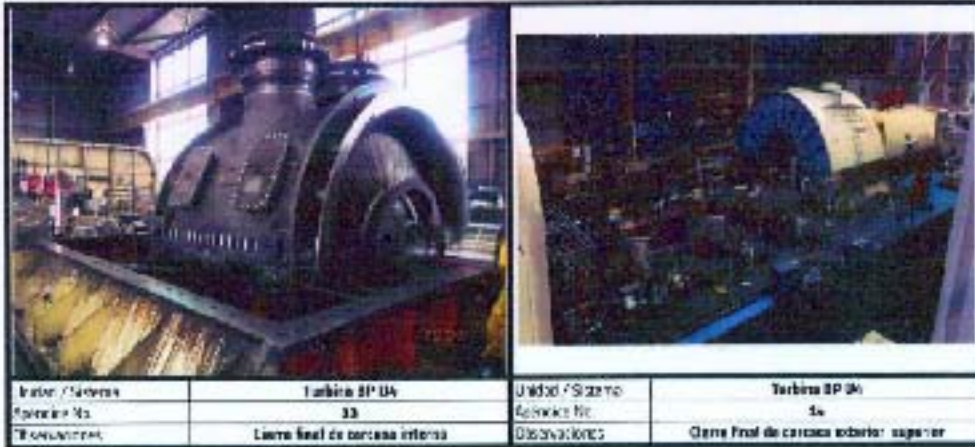


<b>ALSTOM</b>	Unidad: Instalación de Turbina de Bajo Presión		Reporte No: <b>SC-SC1-0028</b>	
	<b>RSC</b>	Autor: Arturo Rodriguez	Docente: Servicio en Campo	Fecha: 7/11/2011
				Página: 11 / 12

	
Unidad / Sistema: <b>Turbina BP 11a</b>	Unidad / Sistema: <b>Turbina BP 11a</b>
Actividad No: <b>88</b>	Actividad No: <b>88</b>
Observaciones: <b>Preparación de parte estator y a parte superior</b>	Observaciones: <b>Preparación de parte estator y a parte superior</b>

	
Unidad / Sistema: <b>Turbina BP 11a</b>	Unidad / Sistema: <b>Turbina BP 11a</b>
Actividad No: <b>88</b>	Actividad No: <b>88</b>
Observaciones: <b>Parte de las partes de apoyo en la zona axial</b>	Observaciones: <b>Parte de las partes de apoyo en la zona axial</b>

<b>ALSTOM</b>	Unidad	Reporte No	
	Instalación de Turbina de Baja Presión	<b>SC-SC1-0028</b>	
<b>RSC</b>	Author	Departamento	Fecha
	Anuro Rodriguez	Servicio en Campo	7/11/2011
			Página
			12 / 12



Unidad / Nombre	Turbina BP 04	Unidad / Sistema	Turbina BP 04
Reporte No.	33	Reporte No.	4a
REQUISITOS	Cierre final de carcasa interna	OBSERVACIONES	Cierre final de carcasa exterior superior