

**INSTRUCTIVO PARA EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO, DETECCION,  
CORRECCION DE FALLAS Y APLICACION DE MANTENIMIENTO PARA  
TURBINAS A VAPOR**

**FABIAN ANDRES MARTINEZ MARTINEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA**

**2012**

**INSTRUCTIVO PARA EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO, DETECCION,  
CORRECCION DE FALLAS Y APLICACION DE MANTENIMIENTO PARA  
TURBINAS A VAPOR**

**FABIAN ANDRES MARTINEZ MARTINEZ**

Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Gerencia de  
Mantenimiento

**Director:**

**Ing. José David Martínez Parada**

**Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA**

**2012**

A dios porque gracias a el  
somos lo que somos y  
estamos donde estamos, a  
mis padres, hermano, novia  
y allegados que desde su  
punto de vista y aportes me  
brindaron su comprensión y  
apoyo para poder sacar  
este trabajo adelante.

Fabián Martínez

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa su agradecimiento a:

ECOPETROL y en su nombre a los Ingenieros José David Martínez Parada y Juan Martínez Lambraño quienes con su conocimiento, confianza y consejos me orientaron y apoyaron siempre para llevar a feliz término este trabajo de grado.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	16
1. DEFINICION DEL PROBLEMA	18
1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	18
1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA	18
1.3 DESCRIPCION DEL PROBLEMA	18
2. JUSTIFICACION	20
2.1 JUSTIFICACION TEORICA	20
2.2 JUSTIFICACION METODOLOGICA	20
3. OBJETIVOS	21
3.1 OBJETIVO GENERAL	21
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	21
4. MARCO REFERENCIAL	22
4.1 MARCO TEORICO	22
4.1.1 Ciclo Rankine	22
4.1.1.1 Planta de potencia de vapor simple según el ciclo de Rankine	23
4.1.1.2 Efecto de la presión y la temperatura sobre el ciclo de Rankine	24
4.1.1.3 Efecto del sobrecalentamiento sobre la eficiencia del ciclo de Rankine	27
4.1.2 Ciclo Rankine Con Recalentamiento	28

4.2 MARCO CONCEPTUAL	30
4.2.1 Turbinas De Vapor Y Su Clasificación	30
4.2.1.1 La turbina de vapor	30
4.2.1.2 Clasificación de las turbinas a vapor	31
4.2.1.3 Esquema de transformación de una turbina	33
4.2.1.4 Papel de la turbina en la central térmica	34
4.2.2 Generador De Vapor O Caldera	35
4.2.3 Generador De Corriente Alterna O Alternador	35
4.2.4 Taxonomía	35
4.2.5 Mantenimiento	37
4.2.5.1 Que es el Mantenimiento	37
4.2.5.2 Objetivos del mantenimiento.	38
4.2.5.3 Cantidad de mantenimiento	39
4.2.5.4 Tipos de mantenimiento	39
4.3 MARCO HISTORICO	41
5 DISEÑO METODOLOGICO	44
5.1 TAXONOMIA	44
5.2 FUNCIONAMIENTO	45
5.2.1 Subunidad De Energia	45
5.2.1.1 Tuberías	45

5.2.1.2 Cojinete radial y de empuje	46
5.2.1.3 Rotor	47
5.2.1.4 Alabes	47
5.2.1.5 Sellos	48
5.2.1.6 Estator/Carcasa	49
5.2.1.7 Valvulas	50
5.2.2 Subunidad De Condensacion	51
5.2.2.1 Condensador	51
5.2.2.2 Bomba reguladora	52
5.2.2.3 Bomba de vacio	52
5.2.3 Sub-Unidad De Regulación	52
5.2.3.1 Filtro	52
5.2.3.2 Bomba	53
5.2.4 Sub-Unidad De Lubricacion	53
5.2.4.1 Enfriador	53
5.2.4.2 Filtro	53
5.2.4.3 Aceite	54
5.2.4.4 Sello de la bomba de aceite	54
5.2.4.5 Tubería	55
5.2.4.6 Bomba	55

5.2.4.7 Motor	55
5.2.4.8 Depósito	55
5.2.4.9 Válvulas	55
5.2.5 Sub-Unidad Control Y Seguimiento	56
5.2.5.1 Control	56
5.2.5.2 Dispositivo de actuación	56
5.2.5.3 Monitoreo	56
5.2.5.4 Valvula	56
5.2.5.5 Fuente de alimentación interna	57
5.2.6 Sub-Unidad Varios	57
5.2.6.1 Sistema de arranque	57
5.2.6.2 Caperuza o carcasa	57
5.3 FALLAS, CAUSAS Y CORRECCIONES	58
5.4 MANTENIMIENTO, RUTINAS E INSPECCIONES	78
5.4.1 Mantenimiento Preventivo	78
6 CONCLUSIONES	84
GLOSARIO	85
BIBLIOGRAFIA	87
ANEXOS	89

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Taxonomía	37
Tabla 2. Taxonomía de las Turbinas a vapor	44
Tabla 3. Fallas, Causas de las mismas y Correcciones	59

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema Funcionamiento Turbogruppo	22
Figura 2. Ciclo de Rankine	23
Figura 3. Efecto de la Presión y la Temperatura en el Ciclo Rankine	25
Figura 4. Efecto del Sobrecalentamiento del Vapor en la Caldera	26
Figura 5. Efecto del Sobrecalentamiento a la Eficiencia del Ciclo de Rankine	27
Figura 6. Esquema Funcionamiento Turbogruppo con Recalentamiento	29
Figura 7. Ciclo Ideal con Recalentamiento	29
Figura 8. Esquema de Transformación de la Energía	34
Figura 9. .Pirámide Jerárquica	36
Figura 10. Turbina de Herón	41
Figura 11. Turbina de Brance	42
Figura 12 Turbina a Vapor Marca Dresser-Rand Modelo GLT 360	78

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Data sheet turbina a vapor DRESSER-RAND GLT-360	89

## RESUMEN

**TITULO:** INSTRUCTIVO PARA EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO, DETECCION, CORRECCION DE FALLAS Y APLICACION DE MANTENIMIENTO PARA TURBINAS A VAPOR.\*

**AUTORES:** FABIAN ANDRES MARTINEZ MARTINEZ \*\*

**PALABRAS CLAVES:** Ciclo Rankine, Turbina a Vapor, Fallas, Causas, Mantenimiento.

**DESCRIPCION O CONTENIDO:** Este trabajo de grado desarrolla un modelo sencillo para el análisis y la descripción del funcionamiento de la turbina a Vapor GLT 360 Marca DRESSER-RAND de ECOPETROL. Para su descripción me baso en la norma ISO 14224. Con la taxonomía y jerarquización ya elaborada es más fácil definir qué actividad y función desarrolla cada sub-unidad y parte de esta máquina.

Sabemos que una de las herramientas más importantes en toda máquina es su historial u hoja de vida, ya que por medio de esta relacionamos todo tipo de comportamiento (normal o anormal) que conlleva a una falla y cuando esta se presenta es en este documento donde relacionamos que actividad se le realiza para contrarrestar estos eventos. Este punto es uno de los fuertes de mi trabajo, porque la recopilación y organización de esta información sumados a las experiencias de los fabricantes de este tipo de máquinas en este campo nos da un amplio bagaje en el conocimiento de estos eventos, lo que finalmente nos ayuda en la detección y corrección de las fallas. Es importante reconocer que muchas empresas no quieren llegar hasta el punto de tener que corregir una falla, por lo anterior es de suma importancia manejar planes de mantenimiento que busquen prolongar la vida útil del equipo, estos mantenimientos preventivos son tratados en el presente trabajo, con una frecuencia que va del día a día hasta periodos de un año.

---

\*Monografía

\*\*Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Director: Jose David Martinez Parada, Ingeniero Mecánico

## SUMMARY

**TITLE:** INSTRUCTIVE FOR CORRECT OPERATION, DETECTION, CORRECTION OF FAILURES AND MAINTENANCE APPLICATION FOR STEAM TURBINES. \*

**AUTHORS:** FABIAN ANDRES MARTINEZ MARTINEZ \*\*

**KEY WORDS:** Rankine Cycle, Steam Turbine, Faults, Causes, Maintenance.

**DESCRIPTION Or CONTENTS:** This work willingly develops a simple model for the description of the functioning of the steam turbine GLT 360 Check Mark DRESSER-RAND OF ECOPETROL. Was based on the standard for his description (ISO 14224). With taxonomy and hierarchization elaborated it is easier to define the activity and show develops of each sub-unit and it departs from this machine.

We know that one of the more important tools in all machine is his track record or sheet of life, since by means of this I related every kind of behavior (normal or abnormal) that bears a fault and when this shows up you save that information in this document where I related that to him activity comes true to offset these events. This point is one of the fortresses of my work, because the compilation and organization of this information added up to the experiences of the suchlike manufacturers of machines at this field an ample baggage hits us on the knowledge of these events, that finally assists us with the detection and correction of the faults. It is important to recognize that many companies do not want to arrive to the extent of having to correct a fault, for the above it is of utmost importance to manage scheduled maintenances that attempt to extend the service life of the team, these preventive maintenances are treated in our work, with a frequency that goes from the day-to-day routine to periods of a year.

---

\* Monograph

\*\* School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization. Director: Jose David Martinez Parada, Mechanical Engineer.

## INTRODUCCION

El presente trabajo de grado tiene como objetivo principal, el de mostrar un material didáctico-practico de turbinas a vapor para su estudio, conocimiento y familiarización como maquina fundamental que es de ECOJETROL.

Se ha considerado de gran utilidad para nuestro fin y beneficio de la empresa, el de desarrollar un instructivo teórico-practico complementado con un gran material que ayuda como son: la turbina modelo; que muestra los aspectos que se quieren destacar, facilitando el entendimiento de los elementos o mecanismos importantes.

La energética moderna se fundamenta en la producción centralizada de electricidad. Los generadores de corriente eléctrica que se instalan en las centrales eléctricas en su mayoría son accionados por turbinas. La parte de energía eléctrica generada en todos los países del mundo por las centrales térmicas, en las cuales casi siempre se emplean turbinas de vapor constituyen un 80%, de esta manera, la turbina de vapor es el tipo principal de motor en la moderna central térmica, incluyendo la nuclear.

La turbina de vapor se utiliza también ampliamente como motor de los barcos de pasajeros y buques de guerra. Además, las turbinas de vapor se emplean para accionar diversas maquinas: bombas, compresores, ventiladores, sopladores de gas y otras instalaciones.

Esta monografía está dividida en varias secciones, entre estas secciones podemos encontrar los siguientes temas: antecedentes históricos del desarrollo de las turbinas a vapor, su ubicación y clasificación. Un breve estudio teórico de las turbinas a vapor. También se describen los elementos constitutivos de las turbinas. Se describe el funcionamiento y control de operación. Las fallas, sus

causas y las correcciones más comunes entre las turbinas a vapor, y finalmente unos de los aspectos quizás más importante el cual es el mantenimiento, sus rutinas e inspecciones.

## **1. DEFINICION DEL PROBLEMA**

### **1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA**

En el pasado no se tenía una reacción rápida cuando se presentaban dificultades con una turbina a vapor, lo cual hacía que la producción de ECOPETROL se parara hasta que esta fuera reparada. Aunque hoy en día ECOPETROL tiene sus planes de mantenimiento y se cuenta con 6 máquinas de iguales características, aun se tienen falencias y por esto la necesidad de introducir un instructivo con el cual le explique al ingeniero o técnico el correcto funcionamiento del equipo así como también le ayude a tomar acciones en el inicio de un contratiempo, sin necesidad de esperar a que llegue el encargado de mantenimiento y que este de las respectivas órdenes para solucionar el problema.

### **1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA**

¿Mediante que herramienta se puede conocer el correcto funcionamiento, las fallas y el mantenimiento que se le debe suministrar a las turbinas a vapor de ECOPETROL con el fin de minimizar costos por no operación y garantizar la extensión de la vida útil del equipo?

### **1.3 DESCRIPCION DEL PROBLEMA**

Las empresas que poseen sistemas de generación de potencia para su uso propio y para distribución de la misma, tienen como necesidad primordial conocer el funcionamiento, fallas y mantenimiento de cada uno de los equipos que este tipo de sistema posee.

Por medio de un análisis crítico se puede generar un instructivo para el correcto funcionamiento, fallas y mantenimiento para turbinas a vapor, ECOPETROL asegura conservar el conocimiento de este tipo de información que muchas veces por motivos del cambio generacional son olvidados por lo que se debe iniciar un

ciclo nuevo de entendimiento de la máquina. Con esta guía se tendría una acción rápida para la solución de problemas que se presenten, logrando de esta manera evitar costos por la no producción de la máquina, así como también prolongar la vida útil del equipo.

## **2. JUSTIFICACION**

### **2.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

El desarrollo de un análisis y posterior generación de un instructivo garantiza tanto a ECOPETROL y a los estudiantes en dicha materia, el entender de una forma teórico-práctica el funcionamiento de las turbinas a vapor, así como también generara dominio y experiencia en el tema correspondiente a las fallas y mantenimientos.

Además de esto se tendrá una referencia a partir de un análisis de historiales de fallas de ECOPETROL y las recomendaciones desarrolladas por los fabricantes en las tarjetas del equipo.

### **2.2 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA**

Las estrategias metodológicas que utilizare están enfocadas a investigación analítica, y aplicada-descriptiva.

La metodología a seguir en esta propuesta se realizará de la siguiente manera:

- ✓ Recolección de información, mediante la cual obtendré:
  - Características del equipo
  - Función principal
  - Recomendaciones de fabricantes en cuestión de monitoreo y toma de acciones de mantenimiento
  - Verificación de las fallas a través de los historiales del equipo.
- ✓ Se organizara la información recolectada para su estudio y clasificación de la misma.
- ✓ Desarrollo del análisis y formulación de la guía para las turbinas a vapor de ECOPETROL.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un análisis que permita formular un instructivo para conocer el funcionamiento de las turbinas a vapor de ECOPETROL, para así tomar acciones correctivas en las fallas y preventivas con el mantenimiento del equipo.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

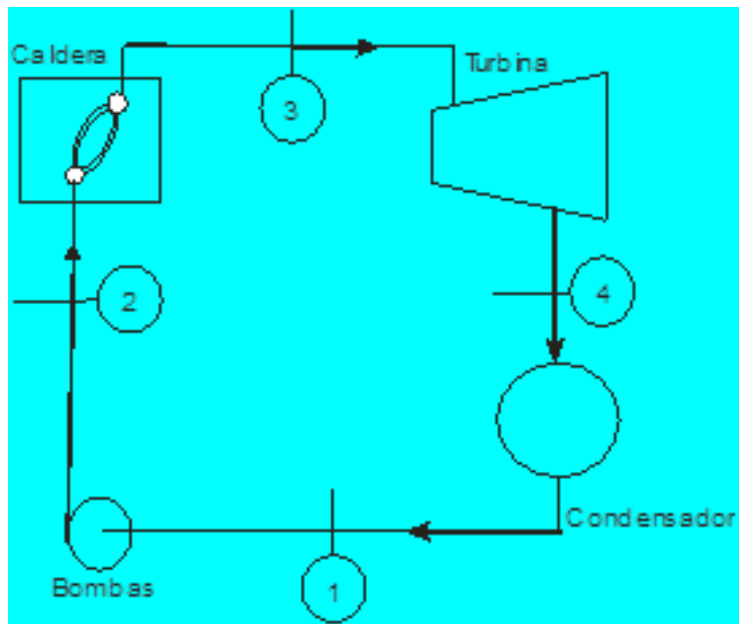
- ✓ Establecer las funciones de las turbinas a vapor y sus sub-sistemas, así como su clasificación.
- ✓ Identificar fallas y modos de fallas a través del control y verificación de los historiales, así como también de las tarjetas de funcionamiento del equipo.
- ✓ Explicar fallas más comunes de las cuales son víctimas este tipo de turbinas.
- ✓ Establecer criterios de mantenimiento para las turbinas a vapor con el fin de minimizar fallas y garantizar el correcto funcionamiento del equipo evitando así paradas no programadas.
- ✓ Establecer condiciones de operaciones óptimas, mediante el control de operaciones para la turbina a vapor.

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1 MARCO TEORICO

**4.1.1 Ciclo Rankine.** El ciclo ideal para una planta usual de potencia de vapor es el ciclo de Rankine, que se indica en la fig. 1. El ciclo de Rankine es un motor de calor con el ciclo de la energía del vapor. El líquido de funcionamiento común es agua.

Figura 1. Esquema Funcionamiento Turbogruppo



Termodinámica de Cengel 6ta edición

El ciclo consiste en cuatro procesos:

1-2 Proceso de bombeo adiabático reversible

2-3 Transmisión de calor a presión constante en la caldera

3-4 Expansión adiabática reversible en la turbina (u otra maquina motriz tal como una máquina de cilindro y embolo).

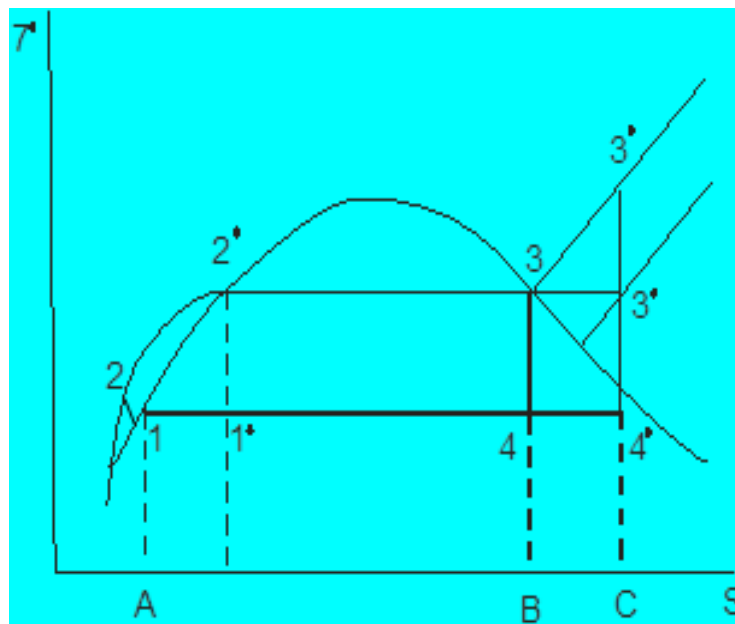
4-1 Transmisión de calor a presión constante en el condensador.<sup>4</sup>

**4.1.1.1 Planta de potencia de vapor simple que opera según el ciclo de Rankine.** Si se desprecian los cambios de energía cinética y potencial, el calor transmitido y el trabajo pueden ser representados por diversas áreas en el diagrama T-s .el calor transmitido al fluido de trabajo está representado por el área a-2-2'-3-b-a y el calor cedido por dicho fluido, por el área que representa el trabajo es la diferencia entre estas dos, a saber, el área 1-2-2'-3-4-1. La eficiencia térmica se define por la relación

$$n_{\text{term}} = \frac{W_{\text{neto}}}{q_H} = \frac{\text{área } 1-2-2'-3-4-1}{\text{área } a-2-2'-3-b-a}$$

$$n_{\text{term}} = \frac{W_{\text{neto}}}{q_H}$$

Figura 2. Ciclo de Rankine



Termodinámica de Cengel 6ta edición

<sup>4</sup> CENGEL Yunus. Termodinámica. Sexta edición. Mc Graw Hill. 2009. P 563

Al analizar el ciclo de Rankine es útil considerar la eficiencia como dependiente de la temperatura media a la cual se cede calor. Cualesquiera cambios que aumenten la temperatura media a la que se suministra calor o que reduzcan la temperatura media a la que se cede, aumentarían la eficiencia del ciclo de Rankine.

Es evidente que el ciclo de Rankine tiene una menor eficiencia que un ciclo de Carnot con las mismas temperaturas máxima y mínima, porque la temperatura media entre 2 y 2' es menor que la temperatura durante la evaporación. Podría preguntarse también por que se eligió el ciclo de Rankine como el ciclo ideal y porque no se seleccionó como tal el ciclo de Carnot 1'-2'3-4-1'. Al menos pueden darse dos razones. La primera se refiere al proceso de bombeo. El estado 1' es una mezcla de líquido y vapor y se encuentran grandes dificultades para construir una bomba que maneje la mezcla de líquido y vapor de 1' y que descargue el líquido saturado de 2'.

Es mucho más fácil condensar completamente el vapor y manejar solo líquido en la bomba y el ciclo de Rankine se basa en este hecho.

La segunda razón se refiere al sobrecalentamiento del vapor. En el ciclo de Rankine el vapor es sobrecalentado a presión constante, proceso 3-3'. Obsérvese, sin embargo que durante este proceso la presión desciende, lo cual significa que debe suministrarse calor al vapor en un proceso de expansión en que se realiza trabajo. Esto es también muy difícil de lograr en la práctica, por lo tanto, el ciclo de Rankine es el ciclo ideal que puede lograrse aproximadamente en la práctica. En las secciones que siguen consideraremos algunas variaciones del ciclo de Rankine que permiten estudiar más de cerca la eficiencia del ciclo de Carnot.<sup>5</sup>

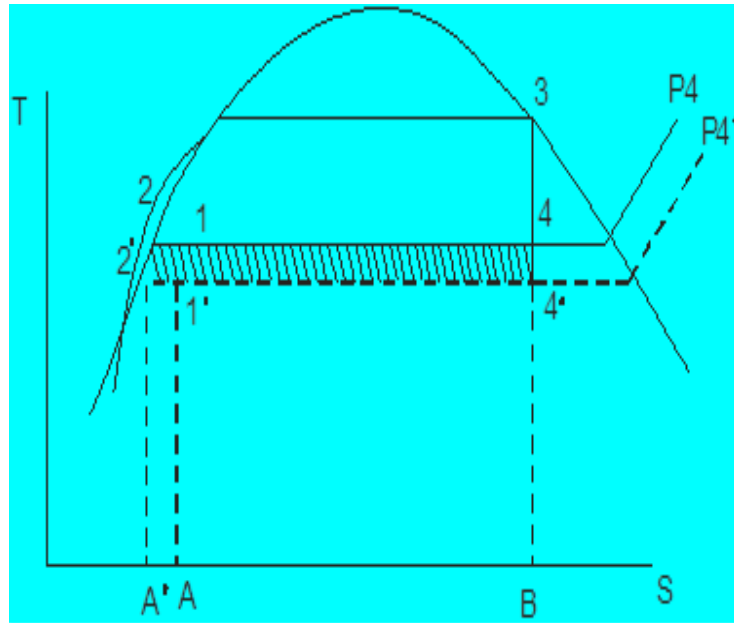
#### **4.1.1.2 Efecto de la presión y la temperatura sobre el ciclo de Rankine.**

Considérese primero el efecto de la presión y la temperatura de escape sobre el ciclo de Rankine. Tal efecto se muestra en el diagrama T-S. de la figura 3.

---

<sup>5</sup> Harrys Xaviero. Ciclo Rankine. [En línea]. <<http://es.scribd.com/doc/41797085/CICLO-RANKINE>> [consultado el 10 de octubre de 2010]

Figura 3. Efecto de la Presión y la Temperatura en el Ciclo Rankine



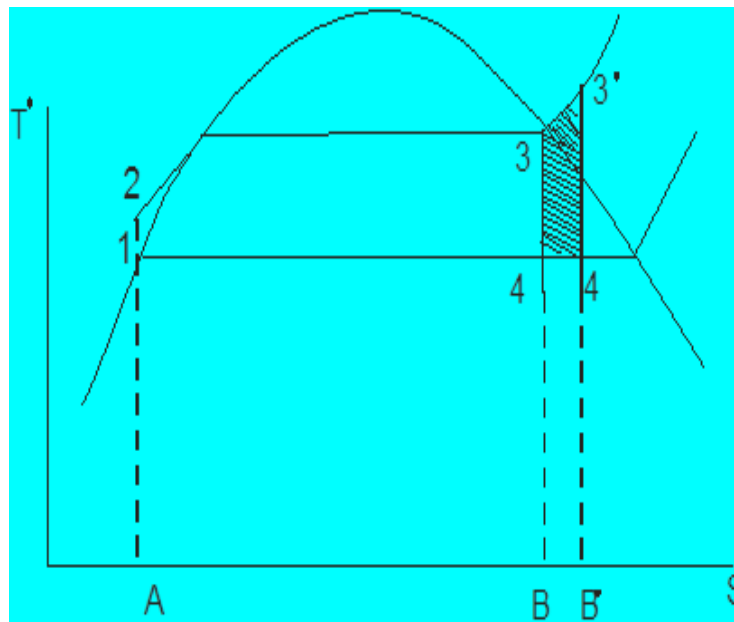
Termodinámica de Cengel 6ta edición

La presión de escape se reduce desde  $P_4$  hasta  $P_4'$ , con la correspondiente disminución de temperatura a la que se cede el calor. El trabajo neto aumenta en el área  $1-4-4'-1'-2'-2-1$  (que se indica por el rayado o achurado). El calor transmitido al vapor aumenta en el área  $a'-2'-2-a-a'$ . Puesto que estas dos áreas son aproximadamente iguales, el resultado neto es un aumento en la eficiencia del ciclo. Esto también es evidente por el hecho de que disminuye la temperatura media a la que se cede calor, obsérvese sin embargo, que si se reduce la contrapresión se origina un aumento en el contenido de humedad del vapor que sale de la turbina. Lo anterior es un factor significativo, porque si la humedad en los pasos de baja presión de la turbina excediera del 10% aproximadamente, no

solo habría una disminución en la eficiencia de la turbina, sino también la erosión de los alabes de esta podría ser un problema muy serio.<sup>6</sup>

Consideremos luego el efecto del sobrecalentamiento del vapor en la caldera como se muestra en la figura 4. Se ve fácilmente que el trabajo aumenta en el área  $3-3'4'-4-3$ , y el calor transmitido en la caldera aumenta en el área  $3-3'b'-b-3$ . Puesto que la razón de estas dos áreas es mayor que la razón del trabajo neto al calor suministrado para el resto del ciclo, es evidente que para presiones fijas, el sobrecalentamiento del vapor aumentará la eficiencia del ciclo de ranking. Esto también se deduce del hecho de haber aumentado la temperatura media a la que se transmite calor al vapor. Obsérvese también que cuando se sobrecalienta el vapor aumenta la calidad de este a la salida de la turbina.<sup>7</sup>

Figura 4. Efecto del Sobrecalentamiento del Vapor en la Caldera



Termodinámica de Cengel 6ta edición

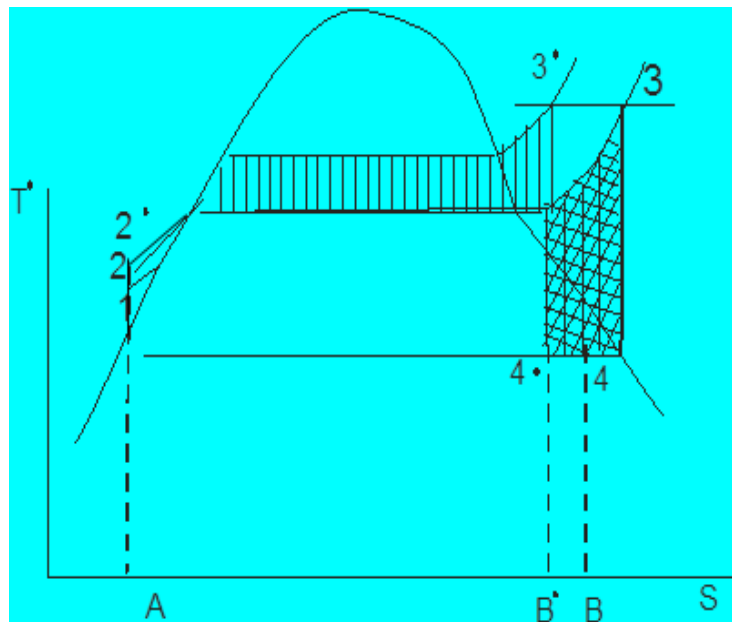
<sup>6</sup>ITSCAM.CicloRankine.[enlínea].No1.(2002).<<https://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/.../r41994.DOC>> [consultado el 10 de octubre de 2010]

<sup>7</sup>UNIVERSIDAD DE HUELVA. Ciclo Rankine. [en línea]. No13 (2000). <[www.uhu.es/gabriel.lopez/comun/Rankine.doc](http://www.uhu.es/gabriel.lopez/comun/Rankine.doc)> [consultado el 10 de octubre de 2010].

**4.1.1.3 Efecto del sobrecalentamiento sobre la eficiencia del ciclo de Rankine.** Finalmente debe considerarse la influencia de la presión máxima del vapor, y esto se muestra en la figura 5. En este análisis la temperatura máxima del vapor, así como la presión de escape, se mantienen constantes. El calor cedido disminuye en le área  $b'-4'-4-b-b'$ . El trabajo neto aumenta en la cantidad representada por el área de rayado simple y disminuye en la cantidad correspondiente al área de rayado doble. Por tanto, el trabajo neto tiende a permanecer igual, pero el calor cedido disminuye y, por consiguiente, la eficiencia del ciclo de Rankine aumenta al aumentar la presión máxima.

Nótese que en este caso también aumenta la temperatura media a la que se suministra calor cuando se tiene un aumento de presión. La calidad del vapor a la salida de la turbina disminuye cuando la presión máxima.<sup>8</sup>

Figura 5. Efecto del Sobrecalentamiento a la Eficiencia del Ciclo de Rankine



Termodinámica de Cengel 6ta edición

<sup>8</sup>ITSCAM.CicloRankine.[enlinea].No1.(2002).<<https://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/.../r41994.DOC>> [consultado el 10 de octubre de 2010]

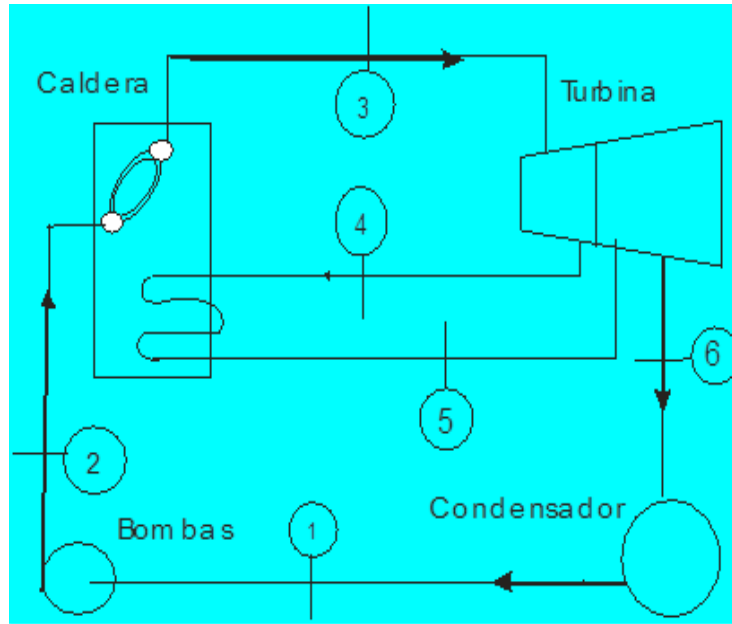
**4.1.2 Ciclo Rankine Con Recalentamiento.** La eficiencia del ciclo Rankine puede incrementarse también aumentando la presión de operación en la caldera. Sin embargo, un aumento en la presión de operación de la caldera origina un mayor grado de humedad en los últimos pasos de la turbina. Este problema puede solucionarse haciendo uso de recalentamiento, en donde el vapor a alta presión procedente de la caldera se expande solo parcialmente en una parte de la turbina, para volver a ser recalentado en la caldera. Posteriormente, el vapor retorna a la turbina, en donde se expande hasta la presión del condensador. Un ciclo ideal con recalentamiento, y su correspondiente diagrama temperatura-entropía aparece en la figura 7. Obsérvese en esta figura que el ciclo Rankine con sobrecalentamiento solamente, sería más eficiente que el ciclo con recalentamiento, si en el primero fuera posible calentar el vapor hasta el estado 1' sin incurrir en problemas de materiales.

El ciclo Rankine con recalentamiento puede ayudar a elevar mínimamente la eficiencia del ciclo, pero se usa para alargar el tiempo de vida de la turbina. Idealmente podríamos usar una cantidad infinita de recalentamientos para continuar elevando la eficiencia pero en la práctica solo se usan dos o tres, ya que la ganancia de trabajos es muy pequeña.<sup>9</sup>

---

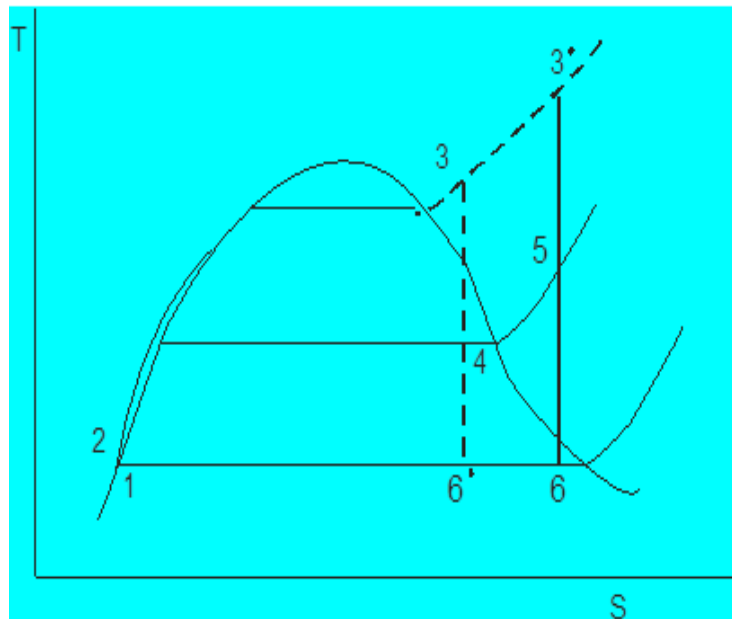
<sup>9</sup> CENGEL. Op Cit. P 574-576

Figura 6. Esquema Funcionamiento Turbogrupos con Recalentamiento



Termodinámica de Cengel 6ta edición

Figura 7. Ciclo Ideal con Recalentamiento



Termodinámica de Cengel 6ta edición

## **4.2 MARCO CONCEPTUAL**

### **4.2.1 Turbinas De Vapor Y Su Clasificación**

**4.2.1.1 La turbina de vapor.** La turbina de vapor es de la más simple más eficiente y la más completa de las maquinas motrices que usan vapor. Claro está que estas condiciones son el resultado de gran cantidad de experimentos, pruebas y experimentos que se han hecho en diseño y material durante muchos años.

El campo de aplicación de las turbinas a vapor es muy amplio, no solo las encontramos acopladas a un generador de corriente que van desde pequeñas potencias a grandes potencias que generan energía eléctrica para toda una ciudad o región, si no como maquinas motrices de bombas, compresores, ventiladores, propulsión de barcos con su respectivos engranajes, muchos mecanismos de potencia variada reciben el nombre de turbobombas, turbocompresores y turbocompresores, además de esto se usan en las grandes centrales nucleares.

El vapor producido en el generador de vapor, es conducido por tuberías adecuadas y generalmente aisladas, por dispositivos de regulación y control hasta el interior de la turbina, donde la energía térmica o calórica y la energía de presión del vapor, se convierte en energía cinética por la expansión, de alta a baja presión de la tobera, la cual direcciona el chorro de vapor para impulsarlo contra los álabes dispuestos en el rodete o rotor haciéndolo girar produciendo de esta manera energía mecánica.

La suma de las dos formas de energía del vapor (térmica y de presión) expresada en kilocalorías por kilogramo de fluido o BTU por libra de fluido, se caracteriza por la entalpia del vapor, función de la presión y la temperatura. Originando una diferencia de presión y una caída de entalpia entre el foco caliente (generador de vapor) y el foco fijo (condensador o atmosfera). La turbina situada entre estos dos

focos asegura la transformación en energía mecánica de rotación con el mínimo posible de pérdidas.<sup>10</sup>

**4.2.1.2 Clasificación de las turbinas a vapor.** Las turbinas de vapor se pueden tener de muchas formas definidas apoyadas en ideas generales, pero es posible hacer una clasificación sintética de ellas:

Según la dirección del movimiento del vapor respecto al rodete pueden distinguirse:

- ✓ Turbinas axiales: cuando el vapor se desplaza dentro del rodete siguiendo una dirección sensiblemente paralela al eje de rotación.
- ✓ Turbina radial: cuando el vapor se desplaza dentro del rodete siguiendo una dirección posiblemente perpendicular al eje de rotación.
- ✓ Turbinas tangenciales o diagonales: cuando el vapor es conducido tangencialmente al rodete (de un modo análogo a como el agua incide sobre una rueda pelton), la corriente del vapor dentro del rodete a la vez axial y radial, es por eso que también recibe el nombre de diagonal.<sup>11</sup>

Según el modo de actuar el vapor en el rodete se clasifican en:

- ✓ Turbinas de acción: cuando el vapor se expande únicamente en órganos fijos (directrices), y no en los móviles (rodetes), de modo que la presión sobre las dos caras de este es la misma. También se conocen como turbinas de impulso.
- ✓ Turbinas de reacción: cuando el vapor se expande también en el rodete de modo que la presión en el fluido a la entrada en este es mayor que en la salida.

---

<sup>10</sup>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE TULA TEPEJIL. Funcionamiento de la Turbina a Vapor. [en línea]. No1. (2006). <<http://es.scribd.com/doc/52341288/28/Funcionamiento-de-la-turbina-de-vapor>> [consultado el 10 de octubre de 2010]

<sup>11</sup>RENOVETEC. Turbinas de vapor y su clasificación. [en línea]. <<http://www.cicloscombinados.com/turbinasdevapor.html>>. [consultado el 10 de octubre de 2010].

- ✓ Turbinas mixtas: cuando una parte de la turbina está construida como de acción y la otra parte como de reacción. Generalmente este es el sistema adoptado en las grandes turbinas que logran buenos aprovechamientos.<sup>12</sup>

Por el número de escalonamientos se distingue:

- ✓ Turbinas de rodete único: como su nombre lo indica son las más sencillas.
- ✓ Turbinas de varios rodetes: contiene más de un rodete y según el modo de establecer los escalonamientos hay; turbinas con escalonamientos de presión, turbinas con escalonamiento de velocidad, turbinas con escalonamiento de presión y de velocidad.<sup>13</sup>

Aun pueden mencionarse una clasificación de las turbinas de varios escalonamientos sobre la utilización de la energía que el vapor arrastra a la salida de cada uno; según eso puede ser:

- ✓ Turbinas con recuperación directa de la energía de salida en la directriz siguiente.
- ✓ Turbinas con recuperación indirecta de la energía de salida en la directriz siguiente.<sup>14</sup>

Por la disposición de la caja, cajas exteriores o de los arboles pueden ser:

- ✓ Cuando tienen dos o más cajas con los arboles acoplados en las líneas son de compound cruzado (Con una sola caja o envolvente o En compound o en tándem).
- ✓ Cuando tienen dos o más árboles no en línea y a menudo en diferentes RPM se llaman compound cruzado.<sup>15</sup>

Por el número de álabes sobre los que inciden corrientes de vapor pueden distinguirse:

---

<sup>12</sup> Ibíd. P 3

<sup>13</sup> Ibíd. P 4

<sup>14</sup> Ibíd. P 5

<sup>15</sup> Ibid. P 5

- ✓ Turbinas de admisión total: cuando el vapor lleva por completo toda la corona de álabes.
- ✓ Turbinas de admisión parcial: cuando el vapor incide solamente sobre una parte de dicha corona.<sup>16</sup>

Por las condiciones del vapor de escape de la turbina pueden estas clasificarse en:

- ✓ Turbinas de escape libre: si el vapor sale directamente sobre la atmosfera.
- ✓ Turbinas de condensación: si el vapor pasa a un condensador.
- ✓ Turbinas de contrapresión: cuando el vapor de escape es conducido a dispositivos especiales para su utilización en otro proceso.
- ✓ Turbinas combinadas: cuando una parte del vapor es sustraída a la maquina antes de su total utilización y conducido a otros dispositivos.<sup>17</sup>

Por el estado del vapor (presión y temperatura del mismo) antes de entrar a la turbina pueden distinguirse:

- ✓ Turbinas de vapor vivo: cuando el fluido pasa directamente de la caldera a la maquina.
- ✓ Turbinas de vapor de escape: cuando utilizan la energía contenida en el vapor procedente de otras máquinas, generalmente de otra turbina mayor.
- ✓ Turbina de vapor saturado:
- ✓ Turbina de vapor recalentado:
- ✓ Turbina con presión mixta:
- ✓ Turbina con recalentamiento intermedio o sobrecalentamiento<sup>18</sup>

#### **4.2.1.3 Esquema de transformación de una turbina.**

Energía potencial → Energía cinética → Trabajo exterior.

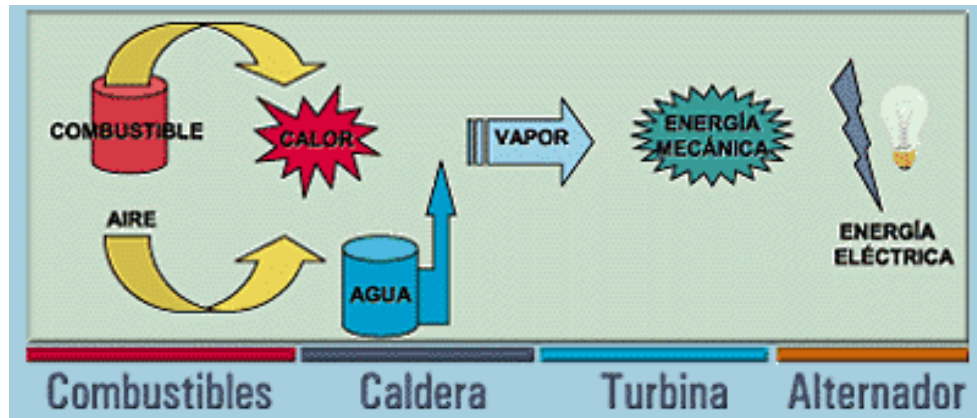
---

<sup>16</sup> Ibid. P 5

<sup>17</sup> Ibid. P 6

<sup>18</sup> Ibid. P 6

Figura 8. Esquema de Transformación de la Energía



Disponible en línea:

<http://www.ute.com.uy/empresa/lineas/generacion/transformacion.htm>

**4.2.1.4 Papel de la turbina en la central térmica.** Una planta térmica es una instalación que tiene por objeto transformar la energía química de un combustible en energía térmica y está en energía mecánica. Luego esta energía mecánica puede ser usada en infinidad de movimientos o maquinas motrices para realizar trabajo útil.

Generalmente, las plantas térmicas tienen un fin específico primordial; que es el producir energía eléctrica por medio de un generador de corriente.

Las plantas termoeléctricas pueden ser termoeléctricas de gas o vapor. En las primeras, la transformación de energía se hace, de química a térmica, de aquí a mecánica y por ultimo a eléctrica, esto se efectúa en un solo paquete y se puede decir que ocurre directamente, porque las turbinas de gas en donde se efectúa la combustión, produce directamente la energía mecánica para mover un alternador acoplado a esta.<sup>19</sup>

<sup>19</sup> BERMUDEZ, Gregorio. Centrales térmicas a vapor generación de potencia. 2010 P 1-2. Disponible en <<http://www.slideshare.net/gbermudez/centrales-trmicas-a-vapor-generacion-de-potencia-4439357>>

En las plantas térmicas de vapor, la transformación de energía térmica de vapor en energía eléctrica no se efectúa en forma directa, si no en forma escalonada y para ello es necesario recurrir a tres órganos principales y al correspondiente equipo auxiliar sin cuyo apoyo no sería posible el funcionamiento de dichos elementos principales, los cuales se relacionan a continuación:

**4.2.2 Generador De Vapor O Caldera.** El generador de vapor es un equipo destinado a producir calor suficiente para evaporar una sustancia (que generalmente es agua), y llevar este vapor a condiciones tales de presión y temperatura que sean óptimas para lograr los objetivos para los cuales fue diseñado.<sup>20</sup> Los generadores de vapor pueden ser de varios tipos, pero la clasificación más importante es con base a la fuente que utilizan para producir el calor necesario de evaporación a las condiciones exigidas. Dependiendo de eso citaremos los más importantes:

- ✓ Generador por combustión.
- ✓ Generador nuclear o atómico.
- ✓ Generador solar.
- ✓ Generador geotérmico.

**4.2.3 Generador De Corriente Alterna O Alternador.** Es donde la potencia mecánica de la turbina de vapor se transforma en potencia eléctrica. Generalmente, están acopladas al eje de la turbina, cuando esta gira entre 1800 y 8500 RPM, o si no, va acoplada a un reductor de velocidad de engranaje.<sup>21</sup>

**4.2.4 Taxonomía.** La taxonomía es una clasificación sistemática de los elementos en grupos genéricos basados en factores comunes (ubicación, uso, subdivisión de equipos, etc). Una clasificación de los datos pertinentes que deben recogerse por

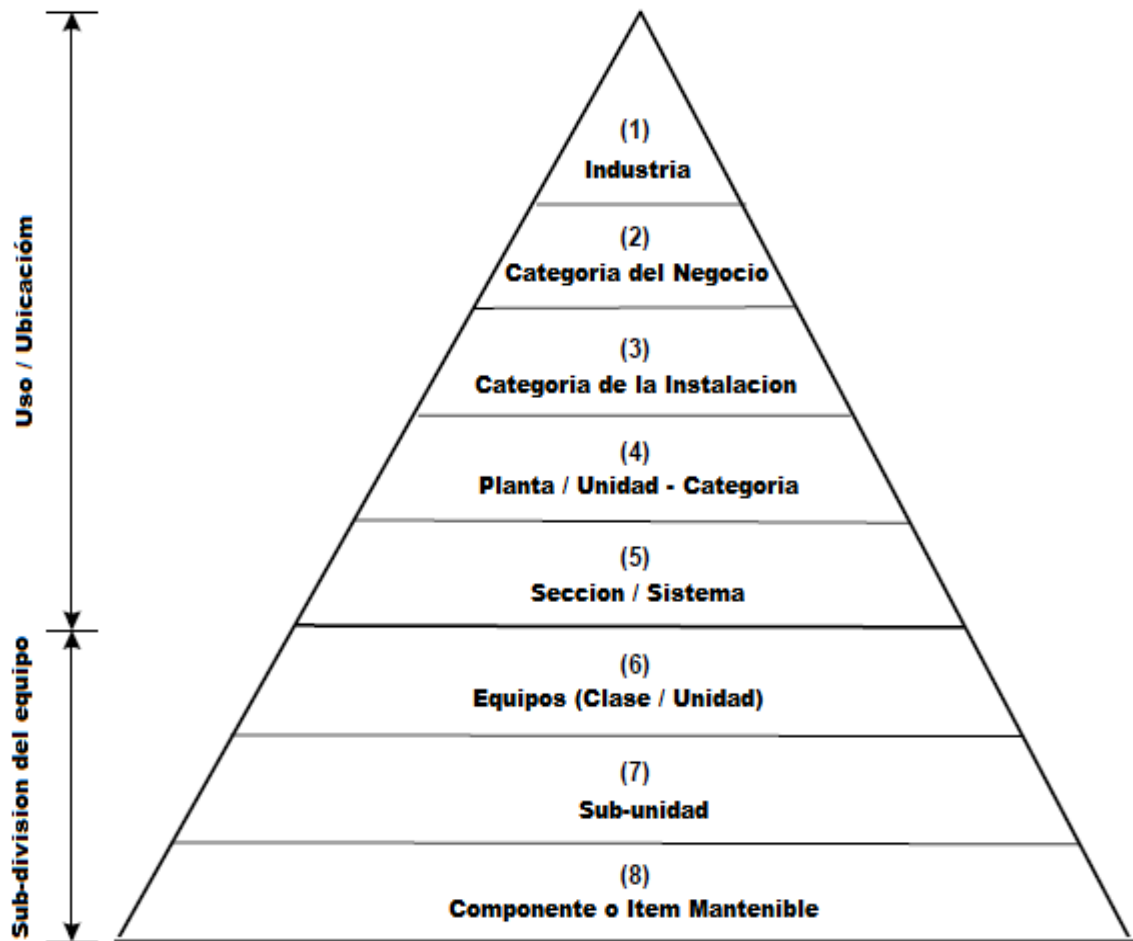
---

<sup>20</sup>UNIVERSIDAD DE LA REPUBLIC DE URUGUAY. Generador De Corriente Alterna O Alternador. [en línea]. <<http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/genvap/material/Clasificacion.pdf>>. [consultado el 10 de octubre de 2010].

<sup>21</sup> WIKIPEDIA. Alternador. [en línea]. < <http://es.wikipedia.org/wiki/Alternador>>. [consultado el 10 de octubre de 2010].

esta norma internacional está representada por una jerarquía que se muestra en la Figura 9.<sup>22</sup>

Figura 9. .Pirámide Jerárquica



Norma ISO 14224 Indicaciones para el mantenimiento centrado en confiabilidad para equipos de la industria del petróleo y gas

Las definiciones de cada segmento se aprecian a continuación en la Tabla 1, además de ejemplos de los diferentes flujos de negocio y tipos de equipos.

<sup>22</sup> INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Draft International Standard ISO/DIS 14224. EEUU. ANSI. 2004. P 31.

Tabla 1. Taxonomía

Categoría principal	Nivel de taxonomía	Taxonomía o jerarquía	Definición
Uso y/o ubicación de datos	1	industria	Tipo principal de la industria
	2	Categoría del negocio	Tipo de negocio o procesamiento de energía
	3	Categoría de la instalación	Tipo de instalación
	4	Planta/ unidad o categoría	Tipo de planta/unidad
	5	Sección/sistema	Sección principal/sistema de la planta
Subdivisión del equipo	6	Equipos (clase/unidad)	Clasificación de las unidades para equipos similares.
	7	Sub-unidad	Subsistema necesario para que el equipo o unidad funcione.
	8	Componente o ítem mantenible	El grupo de las partes del equipo o unidad que se suelen mantener (Reparados o restaurados) en su conjunto.

Los niveles 1 a 5 son una clasificación de alto nivel que se refiere a las industrias y a la aplicación de la planta, independientemente de las unidades del equipo que se está involucrado. Esto se debe a una unidad del sistema (bomba, por ejemplo) puede ser utilizado en muchas facetas de las industrias y las finalidades de la planta. Los niveles 6-8 están relacionados con la unidad del equipo teniendo en cuenta la subdivisión de los niveles más bajos del sistema. El número de niveles de la subdivisión dependerá de la complejidad de las unidades del equipo.<sup>23</sup>

#### 4.2.5 Mantenimiento

**4.2.5.1 Que es el Mantenimiento.** El mantenimiento se define como un conjunto de normas y técnicas establecidas para la conservación de la maquinaria e

<sup>23</sup> Ibíd. P. 32

instalaciones de una planta industrial, para que proporcione mejor rendimiento en el mayor tiempo posible.

El mantenimiento ha sufrido transformaciones con el desarrollo tecnológico; a los inicios era visto como actividades correctivas para solucionar fallas. Las actividades de mantenimiento eran realizadas por los operarios de las maquinas; con el desarrollo de las máquinas se organiza los departamentos de mantenimiento no solo con el fin de solucionar fallas sino de prevenirlas, actuar antes que se produzca la falla en esta etapa se tiene ya personal dedicado a estudiar en qué período se produce las fallas con el fin de prevenirlas y garantizar eficiencia para evitar los costes por averías.

Actualmente el mantenimiento busca aumentar y confiabilizar la producción; aparece el mantenimiento preventivo, el mantenimiento predictivo, el mantenimiento proactivo, la gestión de mantenimiento asistido por computador y el mantenimiento basado en la confiabilidad.<sup>24</sup>

#### **4.2.5.2 Objetivos del mantenimiento.**

- ✓ Garantizar el correcto funcionamiento, la disponibilidad y la confiabilidad de los equipos e instalaciones.
- ✓ Satisfacer los requisitos del sistema de calidad de la empresa.
- ✓ Cumplir todas las normas de seguridad y medio ambiente.
- ✓ Maximizar la productividad y eficiencia.
- ✓ Evitar el envejecimiento prematuro de los equipos que forman parte de las instalaciones.
- ✓ Conseguir lo anterior a un costo razonable.

---

<sup>24</sup> NETO CHUSIN, Edwin Orlando. Mantenimiento Industrial. Macas-Ecuador. 2008. P 8. Disponible en línea < [www.aulafacil.com/cursosenviados/Mantenimiento-industrial.doc](http://www.aulafacil.com/cursosenviados/Mantenimiento-industrial.doc)>.

Con lograr los objetivos anteriores dentro de una industria se estaría garantizando la disponibilidad del equipo y de las instalaciones con una alta confiabilidad de la misma y con el menor costo posible.<sup>25</sup>

**4.2.5.3 Cantidad de mantenimiento.** En este espacio analizamos la cantidad de mantenimiento que se debe realizar en una industria.

- ✓ La cantidad está en función del nivel mínimo permitido de las propiedades del equipo definidas por el fabricante.
- ✓ El tiempo de uso o de funcionamiento durante el cual equipo está en marcha y se determina que sus propiedades de funcionamiento bajan
- ✓ Forma en que los equipos están sometidos a tensiones, cargas, desgaste, corrosión, etc. Que causan pérdida de las propiedades de los mismos.

El mantenimiento no debe verse como un costo si no como una inversión ya que está ligado directamente a la producción, disponibilidad, calidad y eficiencia; El personal de mantenimiento debe estar perfectamente entrenado y motivado para llevar a cabo la tarea de mantenimiento; Se debe tener presente la construcción, diseño y modificaciones de la planta industrial como también debe tener a mano la información del equipo, herramienta insumos necesarios para el mantenimiento.

El mantenimiento requiere planeación, calidad, productividad, trabajo en equipo, para reducir costos y pérdidas; este lo descubriremos a medida que desarrollemos la asignatura.<sup>26</sup>

**4.2.5.4 Tipos de mantenimiento.** Es importante recordar que la finalidad del mantenimiento es la misma, sin embargo existen varias formas de hacer el mantenimiento y diferentes puntos de vista en cómo y cuándo debe hacerse este, a continuación veremos los más conocidos:

---

<sup>25</sup> *Ibíd.* P 8-9

<sup>26</sup> *Ibíd.* P 9

- ✓ **Predictivo:** Este mantenimiento está basado en la inspección para determinar el estado y operatividad de los equipos, mediante el conocimiento de valores de variables que ayudan a descubrir el estado de operatividad; esto se realiza en intervalos regulares para prevenir las fallas o evitar las consecuencias de las mismas.

Para este mantenimiento es necesario identificar las variables físicas (temperatura, presión, vibración, etc.) cuyas variaciones están apareciendo y pueden causar daño al equipo. Es el mantenimiento más técnico y avanzado que requiere de conocimientos analíticos y técnicos y necesita de equipos sofisticados.

- ✓ **Preventivo:** Es el mantenimiento que se realiza con el fin de prevenir la ocurrencia de fallas, y mantener en un nivel determinado a los equipos, se conoce como mantenimiento preventivo directo o periódico, por cuanto sus actividades están controladas por el tiempo; se basa en la confiabilidad de los equipos.
- ✓ **Correctivo:** Comprende el mantenimiento que se lleva con el fin de corregir los defectos que se han presentado en el equipo, este a su vez se clasifica en; **No planificado.** Es el mantenimiento de emergencia. Debe efectuarse con urgencia ya sea por una avería imprevista a reparar lo más pronto posible o por una condición imperativa que hay que satisfacer (problemas de seguridad, de contaminación, de aplicación de normas legales, etc.). **Planificado.** Se sabe con antelación qué es lo que debe hacerse, de modo que cuando se pare el equipo para efectuar la reparación, se disponga del personal, repuesto y documentos técnicos necesarios para realizarla correctamente<sup>27</sup>

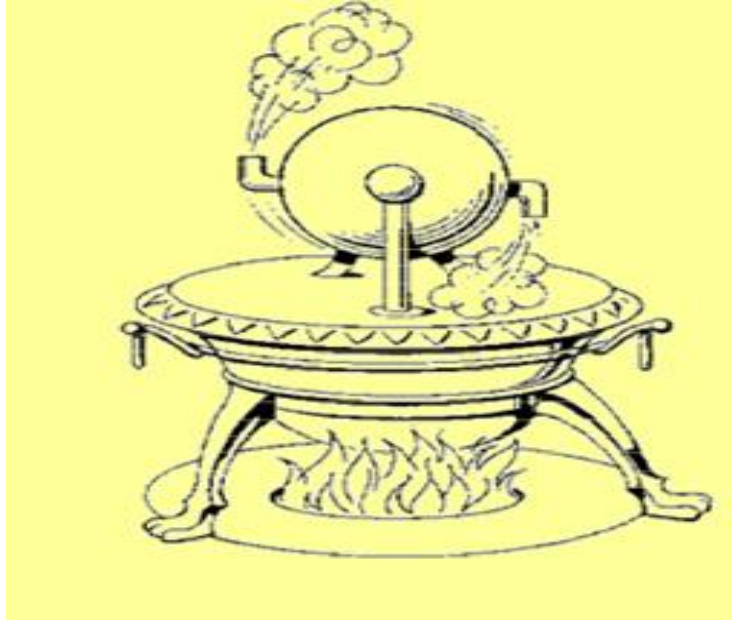
---

<sup>27</sup> Ibíd. P 10-11

### 4.3 MARCO HISTORICO

La primera turbina de vapor de la que se tiene constatación histórica es la construida por Heró de Alejandría en el año 175 a.J.

Figura 10. Turbina de Herón



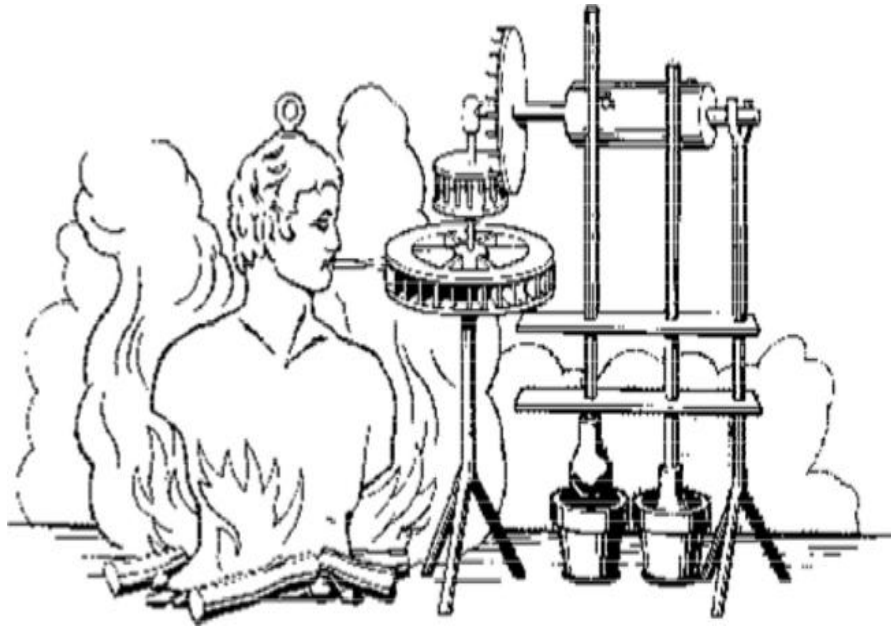
Disponible en línea: <http://www.oocities.org/fisicarecreativa2/freicap01.html>

Esta turbina estaba formada por una esfera hueca que giraba libremente sobre un eje diametral. Los extremos del eje prolongaban en dos conductos que a la par apoyaban la esfera hacía los conductos por los que ascendía el vapor hasta el interior de la misma. A través de dos espitas situadas según un eje diametral perpendicular al de giro de la esfera, salía el vapor, en sentidos opuestos por cada una.

Este ingenio que transforma la presión del vapor en movimiento, constituye la primera turbina pura de reacción.

La siguiente turbina de vapor aparece en 1629, cuando Giovanni Brance experimentó con una rueda de agua modificada, dirigiéndole un chorro de vapor. La rueda giró, pero no tuvo la suficiente potencia como para producir trabajo útil.

Figura 11. Turbina de Brance



Disponible en línea:

<http://www.massengineers.com/Documents/gasturbinetheory.htm>

Hasta finales del siglo XIX, no se encontró ninguna aplicación práctica a la turbina de vapor, y por lo tanto el desarrollo tecnológico de las mismas fue nulo, sin embargo, es a finales del siglo XIX cuando comienza la verdadera historia de las turbinas de vapor.

El primero en encontrar un aprovechamiento a la turbina de vapor fue el inventor sueco De Laval (1845 - 1913), quien patentó un desnatador centrífugo impulsado por una turbina de vapor de acción de una sola etapa. En esta turbina el vapor era impelido a una velocidad supersónica, través de una tobera convergente-divergente, hacia los álabes del rodete de la turbina.

El desarrollo definitivo de la aplicación industrial de las turbinas de vapor se dio en la última década del siglo XIX, cuando el ingeniero inglés Charles Parsons desarrolló la turbina de vapor de reacción de varios escalonamientos, como motor

marino apropiado para impulsar barcos de gran tonelaje, así el “Turbina”, fletado en 1895, fue el primer barco dotado de turbina de vapor. Casi simultáneamente en EEUU, Charles G. Curtis, ideó para General Electric los alternadores accionados con turbinas de vapor.

Ambas turbinas se basaron en diferentes principios de funcionamiento: La turbina de Curtis era de acción, y en ella el vapor se expandía a través de toberas, alcanzando altas velocidades. El flujo de vapor a alta velocidad y baja presión incidía en los álabes de una rueda giratoria.

La turbina de Parsons por contra, era de reacción, y en ella el vapor se expandía según iba pasando a través de toberas fijas y álabes móviles alternativamente.<sup>28</sup>

---

<sup>28</sup> UNIVERSITAT JAUME ICAMPUS DEL RIU SEC. Historia de la turbina a vapor. España. [en línea]. <<http://www.emc.uji.es/assignatura/obtener.php?letra=3&codigo=59&fichero=1083858240359>>. [consultado el 10 de octubre de 2010].

## 5 DISEÑO METODOLOGICO

### 5.1 TAXONOMIA

Tabla 2. Taxonomía de las Turbinas a vapor

Categoría principal	Nivel de taxonomía	Taxonomía o jerarquía	Definición					
Uso y/o ubicación de datos	1	industria	Petroquímica					
	2	Categoría del negocio	Extracción, procesamiento y refinación del petróleo					
	3	Categoría de la instalación	Refinería					
	4	Planta/ unidad o categoría	Planta de servicios industriales					
	5	Sección/sistema	Generación de potencia eléctrica					
Subdivisión del equipo	6	Equipos (clase/unidad)	Turbinas a vapor					
	7	Sub-unidad	Energía turbina	Condensador	Sist. de regulación	Sist. de lubricación	Control y seguimiento	Varios
	8	Componente o ítem mantenible	Tuberías Cojinete radial y de empuje Rotor alabes Sellos estator / carcasa válvulas reguladoras de vapor	Condensador Bomba reguladora Bomba de vacío	Filtro bomba	Enfriador Filtro Aceite Sello de la bomba de aceite Tuberías Bomba Motor Depósito Válvulas	Control Dispositivo de actuación Monitoreo Válvulas Fuente de alimentación interna	Sist. de Arranque Caperuza

## 5.2 FUNCIONAMIENTO

### 5.2.1 Subunidad De Energía

**5.2.1.1 Tuberías.** No hay parte más importante de la instalación de la turbina para su óptimo funcionamiento futuro que las tuberías bien diseñadas e instaladas. Los objetivos de un buen entubado son tres:

- ✓ Contrarrestar las fuerzas y momentos tolerables de los estándares referenciados acuerdo al fabricante.
- ✓ Evitar que los tubos calientes originen deformaciones en la carcasa de la tubería y afecten con ello la alineación.
- ✓ Conectar y drenar la entrada de la turbina y los tubos de escape a fin de suministrar vapor seco a la turbina y evitar la acumulación de agua en dichos tubos.<sup>29</sup>

Se recomienda una válvula de cierre en el tubo de vapor, preferentemente en un lugar fácilmente accesible dentro del espacio de la turbina, entre el colador de vapor y la admisión de la turbina, a fin de que sea posible trabajar la turbina sin tener que parar la caldera.

La carcasa de la turbina debe estar protegida contra el peso de los tubos y esfuerzo de la expansión de los mismos el peso de las tuberías deberá cargarse independientemente sobre soportes apropiados. Los esfuerzos de expansión pueden ser reducidos al mínimo utilizando tramos largos de tubo en lugar de tramos cortos directos y con dobleces adyacentes de la conexión de la turbina. La tubería puede considerarse instalada en forma satisfactoria siempre que los tubos de conexión no desplacen al calentarse a la temperatura de funcionamiento la alineación de la turbina cuando se desconecte está de los tornillos de la brida. Deben utilizarse términos fijos siempre que se instale una junta de expansión en la tubería de escape.

---

<sup>29</sup> GOTERA VALBUENA, Eddin Rafael. Diseño de Tuberías, consideraciones generales y criterios de diseño. México. 2006. P 3.

**5.2.1.2 Cojinete radial y de empuje.** El rotor de cada turbina debe ser posicionado radial y axialmente por medio de cojinetes. Los cojinetes radiales sostienen el peso del rotor, y mantienen la separación radial correcta entre el rotor y la carcasa. Los cojinetes de empuje limitan el movimiento axial del rotor.

También observamos que el rotor de la turbina esta soportado por los dos cojinetes principales instalados en la parte exterior de la envolvente dados que los huelgos entre los sellos y el eje, entre las paletas y la envolvente son sumamente reducidos los cojinetes deben estar alineados cuidadosamente y libres completamente de desgaste con objeto de mantener el rotor en su posición correcta, evitando así el daño a sellos y paletas. En pequeñas turbinas, se usan ocasionalmente cojinetes de bola. Otro tipo, que podríamos llamar de manguito, es el usado con más frecuencia; puede ser lubricado por uno más anillos que giran con el eje y cuya parte inferior está sometida en el depósito de aceite. Todas las demás turbinas utilizan cojinetes lubricados con aceite a presión.

La carga que soportan los cojinetes principales es exclusivamente el peso del rotor, por lo que se diseñan de suficiente tamaño para que los esfuerzos sean moderados en cada punto del cojinete. Sin embargo si el rotor no está completamente balanceado, los cojinetes estarán sujetos a vibraciones considerables que pueden sobrecargarlos. Los cojinetes principales consisten en dos medio cilindros revestidos interiormente con metal antifricción, alojados en una caja que a su vez esta soportada por asientos esféricos. El metal antifricción se hacen una serie de muescas o patas de araña que sirven para distribuir el aceite que impide el contacto de metal a metal entre el eje y el cojinete, formando la cuña de aceite, prácticamente el eje queda flotando en el aceite el suministro de aceite a los cojinetes, no solamente tiene por objeto lubricarlos sino también mantenerlos a la temperatura correcta de operación. El flujo de aceite a los cojinetes es tan importante que el operador debe vigilarlo constantemente. Cada uno de los cojinetes tiene instalado un termómetro una mirilla de inspección y su

correspondiente manómetro. La falta de aceite funde el metal antifricción del cojinete.<sup>30</sup>

**5.2.1.3 Rotor.** El propósito principal de los volantes y turbinas es portar las palas que reciben la energía del vapor y transmitir el momento de giro producido por el fluido al eje de las turbinas. En algunas de las instalaciones más antiguas los volantes son colocados a presión al eje del rotor; en la mayoría de las instalaciones corrientes, los volantes están íntimamente fraguados con el eje. Los rotores están contruidos de acero si se usan con vapor a temperaturas relativamente bajas o de acero al carbón-molibdeno u otras aleaciones de aceros muy resistentes, cuando se usan con temperaturas de vapor superiores a los 350°C cada una de las ruedas del rotor esta ranurada para permitir el ajuste de los álabes.<sup>31</sup>

La construcción del rotor es muy variada pero se puede reducir a tres formas:

- ✓ Rotores de disco o rueda.
- ✓ Rotores de tambor.
- ✓ Rotores de tambor y disco.

**5.2.1.4 Alabes.** Los alabes fijos y móviles se colocan en su posición apropiada en ranuras alrededor del rotor y carcasa, y el modo de asegurarlos es por medio de ajustes a cola de milano entre paletas y rotor o estator.

Para entrar en más detalle de los álabes debe recordarse primero, que los dos grupos básicos en la división de las turbinas, concierne precisamente a ellos de acuerdo con el principio por el cual utilizan la energía del vapor. Estos dos tipos son básicamente los álabes de impulso y los álabes de reacción.

---

<sup>30</sup> RENOVETEC. Principales Elementos de las –turbinas a –vapor. [en línea] <<http://www.plantasdecogeneracion.com/principaleselementosturbinasvapor.html>>. [consultado el 10 de octubre de 2010]

<sup>31</sup> *Ibíd.*

La diferencia en el vapor sobre ellos, depende únicamente en el diseño de la forma. Las paletas de impulso son siempre simétricas, e igualmente delgadas tanto en la entrada como en la salida, mientras que los alabes de reacción no son simétricos son más gruesos en el lado de la entrada y delgados en la salida.

La forma de las paletas móviles debe ser tal que asegure una conveniente dirección del chorro de vapor con un mínimo posible de pérdidas por fricción. A tal efecto debe tenerse en cuenta las velocidades relativas del vapor <sup>32</sup>

**5.2.1.5 Sellos.** En las turbinas de vapor los lugares por donde el eje del rotor sale de la carcasa, se hace necesaria la instalación de sellos o empaquetaduras para ser cerrados herméticamente; en el lado de alta presión, para impedir fugas de vapor a la atmosfera, en el lado de la baja presión, para evitar la entrada de aire y por consiguiente pérdida de vacío. Las empaquetaduras se usan también entre los émbolos compensadores y la envolvente, entre los diafragmas y el rotor. Las empaquetaduras pueden ser de los siguientes tipos; de laberinto, donde el vapor se va estrangulando en varios pasos hasta reducir su presión, o anillos de carbón en contacto directo con el eje o combinación de los dos mencionados.<sup>33</sup>

En las turbinas de vapor más grandes, aparte de los empaques de laberinto, se usan sellos de vapor que trabajan de la siguiente manera: existen pequeñas tuberías que suministran vapor a un punto intermedio de los empaques de laberinto; en el lado de baja presión este vapor se dirige después a lo largo del eje en las dos direcciones hacia afuera impidiendo la entrada de aire y descargándola a la atmosfera por un respiradero a un colector de condensado o retornado al pozo caliente del condensador y hacia dentro descargando dentro de la envolvente en el lado de alta presión el vapor después de pasar por ellos, o se descarga a un

---

<sup>32</sup> WIKIPEDIA. Alabes. [en línea]. <<http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81labe>>. [consultado el 10 de octubre de 2010]

<sup>33</sup> TEC EIMECUN. Sellos de carbón en las turbinas a vapor. [en línea]. <<http://tec-eimecun.blogspot.com/2009/09/sellos-de-carbon-en-turbinas-vapor.html>>. [consultado el 10 de octubre de 2010]

paso intermedio de la turbina donde puede efectuar algún trabajo o suministrar el vapor necesario para los sellos de baja presión, sistema que utiliza las turbinas de ECOPETROL Barrancabermeja y Cartagena.

**5.2.1.6 Estator/Carcasa.** El estator, carcasa o cuerpo constituye a la parte estacionaria de las turbinas a vapor. Los esfuerzos a los que está sometida son por lo tanto, relativamente moderado y constantes; sin embargo, su construcción sobre todo en las turbinas modernas es bastante complicado por las razones que a continuación se explican:

- ✓ En la carcasa de la turbina se aloja multitud de órganos, tales como los distribuidores donde se instalan las toberas o álabes fijos, los conductos de donde parten las tomas o extracciones intermedias si las tiene, y los conductos del escape al condensador.

El proyecto y construcción de estos conductos difusores es complicado porque hay que encontrar los tamaños óptimos para sacar en poco espacio, el vapor altamente expansionado y recuperar eficientemente la energía cinética.

- ✓ Las turbinas a vapor modernas que funcionan a grandes presiones y temperaturas, superiores en algunos casos a 300 bar y 650°C. para abaratar la construcción la tendencia consiste en localizar las altas presiones y temperaturas en una zona relativamente reducida. De esta manera puede construirse la carcasa en fundición de hierro o acero utilizándose moderadamente mucho más la construcción soldada. Por el contrario, en la zona de turbinas sometidas a temperaturas superiores a 550°C es necesario utilizar aleaciones de acero de estructura autentica, salvo en el caso de que se prevea refrigeración en todo el cuerpo de la turbina. Si las dimensiones en la turbina son grandes y las temperaturas elevadas se presentan deformaciones considerables, que hay que tener en cuenta en su construcción, permitiendo la dilatación en todas las

direcciones sin perder la alineación axial en los cojinetes, los cuales frecuentemente constituyen órganos separados.<sup>34</sup>

Como ya lo anotamos, las carcasas se constituyen generalmente en fundición de acero al carbono cuando no trabajan con vapor recalentado o sobrecalentado, óseas con temperaturas por debajo de los 500 ° C, en algunos casos en fundición de hierro. Cuando las temperaturas son menos severas. Para temperaturas arriba de los 600°C las carcasas se constituyen en acero carbono-molibdeno, ya sea fundido o forjado y luego maquinado. Cada cubierta, tiene una caja de vapor de entrada de alta presión y la entrega a las toberas, una cámara de escape que recibe el vapor después de haber trabajado a una más baja de la última etapa (hilera de álabes móviles) y los lleva a la siguiente tubería en caso de ser de contrapresión o al condensador si es de condensación.

**5.2.1.7 Válvulas.** Para este subsistema encontramos varios tipos de válvulas así:

Válvula reguladora de admisión: Controlan el flujo de vapor de admisión de una turbina, dependiendo de las necesidades de trabajo. La válvula regula el flujo de vapor durante el arranque o calentamiento, abriendo primero la válvula interior cuando la unidad esta lista para funcionar la válvula principal se abre y la de las cajas de toberas toman las funciones de control en caso de emergencia, la válvula de cierre se cierra completamente cuando la presión de aceite es aliviada por medio del cilindro en funcionamiento abajo. Esta presión del aceite puede ser regulada manualmente durante los arranques.

Válvulas de control de toberas: Las válvulas de control de toberas admiten el vapor a la turbina a través de la cámara de la misma. Al aumentar la velocidad, los

---

<sup>34</sup>RENOVETEC.OpCit. [en línea]  
<<http://www.plantasdecogeneracion.com/principaleselementosturbinasvapor.html>>. [consultado el 10 de octubre de 2010]

engranes de operación (válvula de control) del panel indicador principal hacen rotar un árbol de levas el cual hace que las válvulas operen sucesivamente.<sup>35</sup>

Válvula reguladora de vapor de fuga: Esta válvula dispuesta en la tubería del sistema para regular la presión del vapor de obturación del árbol, tiene por objeto evacuar de la tubería colectora el vapor sobrante.

Válvula magnética (para disparar a distancia el cierre rápido): La válvula electromagnética está incorporada en la tubería del aceite de mando que va al dispositivo de cierre rápido. Al actuar, interrumpe el flujo de aceite de mando, por lo que se abre el circuito de aceite de cierre rápido y separa la maquina. La válvula magnética se acciona por vía eléctrica a distancia, por ejemplo, desde la sala de mando o mediante un dispositivo de protección.

Válvulas de cierre rápido y de toma: Las válvulas de cierre rápido y de toma tienen por objeto pedir el retorno de vapor desde la tubería de toma a la turbina.

## **5.2.2 Subunidad De Condensación**

**5.2.2.1 Condensador.** Son intercambiadores de calor que utilizan agua fría (de una corriente natural o enfriada en una torre de enfriamiento) para enfriar y condensar el vapor de escape de la turbina. Al ser el flujo caliente bifásico (vapor y líquido) su diseño y operación es muy complejo. Se debe notar que como la bomba de condensado extrae el mismo caudal másico que entra, la presión queda fijada por el cambio de volumen de vapor a líquido (del orden de 300/1), por lo que el condensador, y las últimas etapas de la turbina, trabajan a presión inferior a la atmosférica.

Al estar parte del circuito bajo vacío es inevitable que entre aire al circuito (y quizás otros gases no condensables como CO<sub>2</sub>). Se hace necesario extraer estos

---

<sup>35</sup>UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA. Departamento de ingeniería eléctrica. Elementos finales de Control. Chile.P2. [en línea].  
<[http://www.inele.ufro.cl/apuntes/Instrumentacion\\_y\\_Control/Ivan\\_Velazquez/Catedra/Capitulo%205.%20Elementos%20finales%20de%20Control.pdf](http://www.inele.ufro.cl/apuntes/Instrumentacion_y_Control/Ivan_Velazquez/Catedra/Capitulo%205.%20Elementos%20finales%20de%20Control.pdf)>. [consultado el 10 de octubre de 2010]

gases del condensador que está bajo vacío. Esto puede hacerse con bombas de vacío o con eyectores de vapor.<sup>36</sup>

**5.2.2.2 Bomba reguladora.** Regula el caudal de entrada a la turbina, siendo de los elementos más importantes de la turbina de vapor. Es accionada hidráulicamente con la ayuda de un grupo de presión de aceite (aceite de control) o neumáticamente. Forma parte de dos lazos de control: el lazo que controla la velocidad de la turbina y el lazo que controla la carga o potencia de la turbina.

**5.2.2.3 Bomba de vacío.** Una bomba de vacío extrae moléculas de gas de un volumen sellado, para crear un vacío parcial.

### **5.2.3 Sub-Unidad De Regulación**

**5.2.3.1 Filtro** El funcionamiento de todo filtro se basa en la existencia de una diferencia de presión que obliga a una suspensión a atravesar el medio filtrante. En la superficie del medio filtrante se van a depositar los sólidos presentes formando con su acumulación una torta, por la que debe seguir circulando el fluido a filtrar. En los filtros centrífugos la fuerza impulsora se aporta como energía cinética. El sólido se ve lanzado hacia la periferia, que se encuentra perforada, en la que se va a depositar comprimiéndose hasta formar una torta. Estos equipos se emplean igualmente para el lavado o el escurrido de sólidos. Los factores principales que afectan a la filtrabilidad son:

- ✓ la naturaleza de la suspensión
- ✓ la fuerza impulsora aplicada
- ✓ la resistencia de la torta a la filtración
- ✓ la temperatura de la suspensión
- ✓ el tamaño de las partículas
- ✓ la concentración de sólidos en suspensión
- ✓ el efecto de la utilización de floculantes y de la agitación

---

<sup>36</sup> UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES. Facultad de ingeniería. Generadores de vapor. P 5 [en línea]. <<http://materias.fi.uba.ar/6720/unidad11.PDF>>. [consultado el 10 de octubre de 2010]

- ✓ la naturaleza del medio filtrante

El medio filtrante debe ser resistente mecánicamente y a la acción corrosiva del fluido, mostrar poca resistencia al flujo del filtrado, así como permitir que la torta se desprenda fácilmente.<sup>37</sup>

**5.2.3.2 Bomba** El funcionamiento en sí de la bomba será el de un convertidor de energía, es decir, transformara la energía mecánica en energía cinética, generando presión y velocidad en el fluido. Existen muchos tipos de bombas para diferentes aplicaciones. Los factores más importantes que permiten escoger un sistema de bombeo adecuado son: presión última, presión de proceso, velocidad de bombeo, tipo de gases a bombear (la eficiencia de cada bomba varía según el tipo de gas).

#### **5.2.4 Sub-Unidad De Lubricación**

**5.2.4.1 Enfriador** es un intercambiador de calor entre el aceite y el ambiente ya sea por medio del aire o del líquido refrigerante de la turbina. Su función (como la palabra lo dice) es transferir el calor del aceite para que éste posea buenas propiedades lubricantes, una temperatura mayor a los 120° ocasiona que el mismo pierda sus cualidades de lubricación. También sirve (en el caso de que el elemento enfriador sea el líquido refrigerante) como acelerador del calentamiento del aceite (opuesto al enfriamiento).<sup>38</sup>

**5.2.4.2 Filtro.** Es un elemento que ayuda a retener los residuos mezclados con el aceite, y lo consigue si el papel filtrante con el que está fabricado tiene la resistencia y porosidad adecuada, la superficie adecuada y si no se descompone el papel filtrante.

---

<sup>37</sup> TEXACO. Mantenimientos a filtros y aceites. [en línea]. <<http://www.texaco.es/es/ct/mantenimiento/index.html>>. [consultado el 10 de octubre de 2010]

<sup>38</sup> HIDROTERM. Intercambiadores de calor. [en línea]. <<http://www.hidroterm.com.ve/documentacion/intercambiadoresdecalor.pdf>>. [consultado el 10 de octubre de 2010]

**5.2.4.3 Aceite.** El lubricante es una sustancia que introducida entre dos superficies móviles reduce la fricción entre ellas, facilitando el movimiento y reduciendo el desgaste.

El lubricante cumple variadas funciones dentro de una máquina, entre ellas disuelve y transporta al filtro las partículas fruto del desgaste, distribuye la temperatura desde la parte inferior a la superior actuando como un refrigerante, evita la corrosión por óxido en las partes de la turbina, evita la condensación de vapor de agua y sella actuando como una junta determinados componentes.

La propiedad del lubricante de reducir la fricción entre partes se conoce como Lubricación y la ciencia que la estudia es la tribología. Un lubricante se compone de una base, que puede ser mineral o sintética y un conjunto de aditivos que le confieren sus propiedades y determinan sus características. Cuanto mejor sea la base menos aditivo necesitará, sin embargo se necesita una perfecta comunión entre estos aditivos y la base, pues sin ellos la base tendría unas condiciones de lubricación mínimas.<sup>39</sup>

**5.2.4.4 Sello de la bomba de aceite.** Esencialmente el sello mecánico consiste de dos superficies anulares de rozamiento que están empujándose una contra otra. Una superficie de rozamiento está fija a la parte estática de la máquina, mientras que la otra esta fija al rotor y gira junto con este. El fluido a ser sellado penetra entre ambas superficies de rozamiento formado una película de lubricación la cual fluye entre las superficies constantemente. La presión a sellar se reduce linealmente a través de las superficies de rozamiento. En su forma más simple, un sello mecánico consiste de un anillo fijo sobre el rotor, el cual es empujado contra la carcasa de la máquina.<sup>40</sup>

---

<sup>39</sup> TEXAS INDUSTRIAL SOLUTION ADVANCED LUBRICANTS. Aceites y Lubricantes. P 5 [en línea]. <<http://texas.cl/servicios.php?id=13>>. [consultado el 10 de octubre de 2010]

<sup>40</sup>NOVATEC. Sellos y empaques. [en línea]. <[http://www.novatec.cr/Utilitarios/Burgmann\\_Sellos%20mecanicos/Principios\\_Sellos-mecanicos.pdf](http://www.novatec.cr/Utilitarios/Burgmann_Sellos%20mecanicos/Principios_Sellos-mecanicos.pdf)>. [consultado el 10 de octubre de 2010]

**5.2.4.5 Tubería.** Al igual que en los otros subsistemas las tuberías del aceite lubricante cumplen la misma función, la única diferencia es su tipo de material el cual es en acero inoxidable y de tamaños que varían según el interconexión de la misma turbina.

**5.2.4.6 Bomba.** Su función es proporcionar un flujo y presión constante de aceite limpio a todos los componentes que tienen fricción durante el funcionamiento del motor.

**5.2.4.7 Motor.** Es una máquina que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. Esta nos va a garantizar el número mínimo de revoluciones necesarias para mantener a la bomba cumpliendo con su función.

**5.2.4.8 Depósito** La función principal de los tanques o depósitos de aceite es almacenar el suficiente fluido hidráulico para alimentar de aceite a los consumidores o elementos de trabajo y garantizar reservas mínimas para el sistema y también permitir que a través de sus paredes, la disipación del calor que se genera en la instalación durante el trabajo.<sup>41</sup>

Otras funciones del depósito son:

- ✓ Debe tener espacio para que el aire se separe del fluido.
- ✓ Permitir que los contaminantes se diluyan y depositen en el fondo.
- ✓ Impedir que este sea un medio de contaminación para el circuito.

**5.2.4.9 Válvulas** se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una

---

<sup>41</sup> WIKIPEDIA. Carter. [en línea]. <<http://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A1rter>>. [consultado el 10 de octubre de 2010]

pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

## **5.2.5 Sub-Unidad Control Y Seguimiento**

**5.2.5.1 Control.** Es el mecanismo para comprobar que la turbina trabaje como fue previsto, de acuerdo con los parámetros de funcionamiento establecidos, para obtener la mayor vida útil del mismo.

**5.2.5.2 Dispositivo de actuación** Es un dispositivo inherentemente mecánico, se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles:

- ✓ Presión neumática.
- ✓ Presión hidráulica.
- ✓ Fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide).

Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico”.<sup>42</sup>

**5.2.5.3 Monitoreo.** Es el seguimiento constante que se le lleva a los parámetros de funcionamiento de la turbina tales como: temperatura, presión, revoluciones, entre otros indicadores, para que esta no falle y obtengamos la mayor disponibilidad posible.

**5.2.5.4 Válvula.** La función de variar el caudal del fluido de control que modifica a su vez el valor de la variable medida comportándose como un orificio de área

---

<sup>42</sup>MITECNOLÓGICO. Actuadores. [en línea]. <<http://www.mitecnologico.com/Main/TiposDeValvulasDeControl>>. [consultado el 10 de octubre de 2010]

continuamente variable. La válvula de vapor de entrada que proporciona el caudal de vapor deseado para dar la potencia requerida por la turbina.

**5.2.5.5 Fuente de alimentación interna.** También denominada batería, batería eléctrica, acumulador eléctrico o simplemente acumulador, esta suministra la energía necesaria al motor de arranque para que pueda romper la inercia de la turbina, esta puede ser cargada mediante de un alternador o generador.

## **5.2.6 Sub-Unidad Varios**

**5.2.6.1 Sistema de arranque.** Está constituido por el motor de arranque, el interruptor, la batería y el cableado. El motor de arranque es activado con la electricidad de la batería cuando se gira la llave de puesta en marcha, cerrando el circuito y haciendo que gire la turbina para romper la inercia.

**5.2.6.2 Carcasa** La carcasa se divide en dos partes: la parte inferior, unida a la bancada y la parte superior, desmontable para el acceso al rotor. Ambas contienen las coronas fijas de toberas o alabes fijos. Las carcasas se realizan de hierro, acero o de aleaciones de este, dependiendo de la temperatura de trabajo, obviamente las partes de la carcasa de la parte de alta presión son de materiales más resistentes que en la parte del escape. La humedad máxima debe ser de un 10% para las últimas etapas. Normalmente se encuentra recubierta por una manta aislante que disminuye la radiación de calor al exterior, evitando que el vapor se enfríe y pierda energía disminuyendo el rendimiento de la turbina. Esta manta aislante suele estar recubierta de una tela impermeable que evita su degradación y permite desmontarla con mayor facilidad.<sup>43</sup>

---

<sup>43</sup> RENOVETEC. Principales Elementos de las –turbinas a –vapor. [en línea] <<http://www.plantasdecogeneracion.com/principaleselementosturbinasvapor.html>>. [consultado el 10 de octubre de 2010]

### **5.3 FALLAS, CAUSAS Y CORRECCIONES**

Las averías o fallas pueden originar interrupciones involuntarias del servicio o retrasos en la puesta en marcha. Cuanto más pronto se descubran las causas de la perturbación respectiva y se adopten las medidas para su eliminación menores serán los tiempos de parada. Una turbina de vapor tiene relativamente pocas partes en movimiento; Y, cuando estos elementos están correctamente instalados y mantenidos pueden tener muchos años de servicio óptimo por lo que pocos serían los problemas que pueden esperarse.

Ningún equipo mecánico, sin embargo, es inmune para los problemas y esta sección ha estado preparada como una guía para los diversos problemas que podrían surgir, las causas posibles y la solución de estas. Este instructivo no pretende ser completo, en el sentido de que en él se traten todas las averías posibles y sus combinaciones, así como los efectos y las posibilidades de eliminación. Por tal motivo los ingenieros y técnicos deben estar atentos a las diferentes fallas y hacerle un buen seguimiento a la turbina y su equipo auxiliar.

En muchos casos, instrucciones como las que veremos a continuación sobre vigilancia, de manejo y de mantenimiento les dan al ingeniero y al técnico otra opción para consultar sobre las causas y las consecuencias de las fallas, por lo que el conocimiento del contenido de dichas instrucciones es útil para la localización de defectos. Se hace referencia, en forma abreviada, a las fallas que pueden producirse durante el servicio de la turbina y de sus equipos auxiliares, y tienen por finalidad ayudar al personal de operarios a reducir en lo posible los tiempos de parada y los peligros para el turbogruppo. Las citadas instrucciones contienen indicaciones sobre las posibles causas y su eliminación, clasificadas según las partes de la instalación y las características de las perturbaciones. Se destaca expresamente cuales son las averías que hacen necesaria la parada inmediata del turbogruppo

Hay que tener claro, de que el fabricante no es responsable de las consecuencias debidas a manipulaciones erróneas, ni siquiera cuando falten en el manual de la turbina, indicaciones relativas de determinados procesos de servicios o averías. El personal de técnicos no siempre puede apreciar los efectos de las perturbaciones sobre la seguridad de servicios de la turbina, ni si tiene que pararse el turbogruppo.<sup>44</sup>

Clases de averías:

Aparte de los daños originados por cuerpos extraños, se trataran esencialmente de los siguientes grupos de averías principales:

- ✓ Averías debidas a la influencia de una velocidad de rotación excesiva.
- ✓ Anulación de holguras axiales y radiales en el sistema de álabes o en las juntas.
- ✓ Averías en los cojinetes que como defectos primarios pueden originar daños por extralimitación de holguras.
- ✓ Daños o fenómenos de desgaste en las carcassas en el sistema de álabes y en otras partes diversas, originados por un funcionamiento indebido.
- ✓ Desgastes de piezas que debido a su alta sollicitación poseen de por si una esperanza de duración menor que las partes principales de la turbina.

Tabla 3. Fallas, Causas de las mismas y Correcciones

Falla	Causa	Solución
La turbina no transporta la carga correctamente	Demasiada carga para la turbina (excede sus parámetros de funcionamiento)	Reducir considerablemente la carga acuerdo a los parámetros de funcionamiento del data sheet, Si la carga no puede disminuirse por motivos de operación, consúltelo al departamento de ingeniería del fabricante, Con el fin de que se le pueda realizar un incremento razonable para la generación de poder.
	Baja presión de vapor	Cerciórese de que la línea de vapor no sea pequeña

<sup>44</sup> NETO CHUSIN. Op cit. P 18

	en la válvula de admisión o alta presión en el tubo de escape (exhosto)	o que la caída de presión a través de las válvulas y los accesorios en la línea no sea demasiado alta. Compruebe la presión de vapor en la válvula del gobernador bajo las máximas condiciones de carga. En caso de no ser óptimo su funcionamiento cambie estos accesorios defectuosos.
	La boquilla o tobera están bloqueadas	Abra la turbina y compruebe las boquillas. Limpie o reemplace las boquillas según se requiera.
	El filtro de vapor está obstruido	Limpie el filtro y compruebe la fuente de vapor en el exterior.
	La válvula del gobernador no está lo suficientemente abierta	Vea en la placa del gobernador cual debe ser la apertura de la válvula o que tanta cantidad de vapor debe pasar.
	los alabes de la rueda están desgastados	Reemplace los alabes cuando se aprecie desgaste o una erosión de 1/8 de pulgada (3,2mm) en el área de la boquilla.
	Número insuficiente de válvulas de mano abiertas	El operador deberá estar familiarizado con el uso correcto de las válvulas de mano y debe conocer las combinaciones correctas (apertura y cierre) de las válvulas de mano para las diversas cargas.
Excesivo consumo de vapor	Las boquillas y los alabes de la rueda están desgastadas o dañadas	Esto afecta la eficiencia de la turbina adversamente. La boquilla y / o la rueda deberán ser reemplazada por sus respectivos repuestos lo más pronto posible ya que su mal funcionamiento puede generar daños irreparables.
	Fuga interna de vapor	Esto debe corregirse lo más rápido posible, malos parámetros de funcionamiento pueden ocasionar daños incorregibles. Verifique las juntas y en caso de accesorios defectuosos cámbielos.
	Demasiadas válvulas de mano abiertas	Demasiadas válvulas de mano abiertas hacen que más vapor atraviese el anillo de vapor. Puede causar que el gobernador haga un pobre control de la válvula, ya que fuerza la válvula a operar muy cerca del asiento máximo. Verifique la combinación correcta de las válvulas de mano.
	Los ajustes de fase de la rueda están descuadrados.	Consulte con el fabricante la correcta orientación de la fase de la rueda y en lo posible calibrarla, de no ser posible comuníquese con el departamento de

		ingeniería del mismo.
Vibraciones	Desalineación del eje conducido	Compruebe la alineación cuando la turbina está caliente teniendo en cuenta los ajustes y tolerancias acuerdo al diámetro del eje. Esto se debe probablemente a excesiva entrada de vapor o a deformación de la tubería. Debe rectificarse la tubería para eliminar los esfuerzos y o realinear la unidad.
	Desbalanceo	Remueva cualquier residuo u objeto extraño que pudo haber quedado en la rueda. Cerciórese de que la turbina esta completamente drenada durante los períodos de cese de operaciones para impedir un desbalanceo.
	Fricción	Corrija la posición axial del rotor. Asegúrese de que el elemento conducido no puede empujar en contra de los ejes de la turbina.
	Ejes torcidos	El eje deberá ser reemplazado si el descentramiento con el acople o con la rueda excede a .001 pulgadas (.025mm), el eje debe ser visto cuando este colocado en el bloque tipo "V" y con sus respectivos rodamientos.
	Despegue de las chumaceras de alineamiento, chumaceras con claros excesivos.	Comprobar el estado de estos elementos, por lo general si su estado no es el óptimo deben cambiarse.
	Curvatura temporal del eje como consecuencia del roce con los anillos de obturación al producirse cambios de alineación debidos a la temperatura.	Reducir las velocidades de variación de la carga y/o de la temperatura. Mantener dentro de ciertos límites las influencias de la temperatura sobre las cajas de cojinetes y las piezas de cimentación, mediante el aislamiento apropiado.
	Rueda floja	Esto es sumamente inusual, pero puede deberse a una excesiva descarga termal (vapor de agua) o por una sobre-velocidad excesiva. Reemplace la rueda y el eje también, esto de ser necesario.
	Acople desgastado	Reemplace el acople. Tener la seguridad de que los acoples que han de ser lubricados sean mantenidos

		bien lubricados por las recomendaciones del fabricante y sus métodos.
	La grasa ha perdido sus propiedades y ha ocasionado una traba en el acople	Quite una parte de la grasa para permitirle el movimiento y reemplácela por una nueva.
	Curvatura temporal del rodete como consecuencia de una distribución no uniforme del calor en su periferia al producirse cambios de temperatura.	Reequilibrar la turbina durante el servicio. Reducir la velocidad de variación de la velocidad de giro, de la carga y/o de la temperatura. Esperar a que mejoren la condición de vibración, después de haber alcanzado un estado estacionario.
	Alteraciones del estado de equilibrio del tramo del eje, debidas a posiciones forzadas de los rodetes.	Analizar las vibraciones, determinando su amplitud y sentido vectorial. Controlar los acoplamientos para determinar si los pernos correspondientes están bien ajustados y fijamente asentados.
	Los rodamientos están desgastados excesivamente	Reemplace los rodamientos usados por unos nuevos.
	Ranuras de alojamiento de los anillos de carbón obstruidas por impurezas en el alojamiento de empaque	Desmunte estos y límpielos.
	Daños en los alabes	Controlar el sistema de alabes. Si se han producido daños en las etapas finales de la turbina de baja presión, se puede, acortar, como medida provisional, la paleta del alabe situado a 180°, en la medida que corresponde al alabe deteriorado, o colocar en el plano de este último un peso para compensar la parte que falta de su paleta (consultar con el fabricante). Cuando se produzcan daños en otras partes del sistema de alabes, será preciso abrir la turbina para determinar la magnitud de la avería en ese caso se debe asegurar la máquina.
	Los rodamientos quedan flojos en su	Contacte al departamento de ingeniería del proveedor para obtener las mejores

	respectivo alojamiento	recomendaciones para su corrección. Esta falla puede causar vibración seria y causar daños en los elementos rotatorios y fijos.
	Los anillos de carbón están demasiado apretados, lo que hace que no haya suficiente espacio libre para permitir el goteo de vapor que ayudar al enfriamiento y a la impermeabilización	Los anillos de carbón apretados pueden causar vibración, sobrecalentándose, y esto puede averiar el eje de la turbina. Los anillos de carbón deberán ser reemplazados por unos nuevos y ajustarlos de acuerdo a la tabla de ajustes y tolerancias.
	Rotor desbalanceado	Esto ocurre si los álabes o los anillos de refuerzo han sufrido algún desperfecto. En caso de no poder corregirse fácilmente, deberá devolverse el rotor a la fábrica para su reparación y efectuar un nuevo balanceo. Puede originarse desequilibrio en el rotor debido también a depósitos de costras de óxido no uniformes e incrustaciones derivadas de vapor con impurezas.
	Excesiva holgura de los cojinetes	En este caso se debe parar la maquina enseguida ya que se debe realizar una modificación de la geometría de los cojinetes (tipo, longitud, holguras), esto se debe realizar por parte del fabricante consúltelo y no encienda el equipo.
Fuga excesiva en la envoltura de la glándula	Anillos de carbón quebrados o mal puestos	Reemplace los anillos de carbón por unos nuevos.
	Anillos de carbón dañados por la suciedad o impurezas, La suciedad es llevada por el vapor a través de las juntas. Las juntas del alojamiento de la glándula se pueden haber erosionado o picado. Tubo de desagüe bloqueado una de sus líneas demasiado pequeñas restringiendo el flujo. Trampa de vapor no	Los anillos de carbón deben tener la libertad de permitir el movimiento axial para que con esto la corriente de vapor que pasa haga un sello suave en la cara frontal del alojamiento de la glándula.  Si la cara que sella el alojamiento de la glándula esta erosionada o llena de pitting es un motivo suficiente para decir que hay una ruptura en el sello. Por lo que este alojamiento debe ser cambiado por uno nuevo contacte al departamento de ingeniería del fabricante para asesoría.  El desagüe de la glándula debe tener un tubo de drenaje de un tamaño determinado que permita el

	trabaja, contrapresión excesiva.	paso del vapor sin causar taponamiento en ningún sentido. Verifique la operación del sistema del eyector (si este ha sido instalado)
Rodamientos calentados y desgastados	Rodamientos mal instalados inadecuados	Los rodamientos del eje son especiales de alto grado, rodamientos de bola para altas temperatura. Reemplace sólo con estos ya que son los recomendables por el fabricante.
	Desalineación	Ésta es una causa común de desgaste excesivo. La alineación debería corregirse tan pronto como sea posible, solicite asesoría al departamento de ingeniería.
	Desbalanceo	Esto sucede a menudo debido a los depósitos en los alabes de la rueda. Inspeccione y limpie el elemento rotativo.
	Empuje transmitido por el eje conducido al acople	Se deben mantener los respectivos ajustes entre el eje conducido y el acople. Compruebe estos ajustes y asegúrese de que el acople permita el movimiento axial. El acople puede llenarse de suciedad, por fango o grasa dañada lo que no permitiría el movimiento axial.
	Disco guía dañado o desbalanceado	Reemplácelo o rebalanceo de ser necesario.
Las juntas y los accesorios no permanecen alineadas	La tubería no tiene soporte para evitar los esfuerzos	Una buena soportería evitaría que los esfuerzos en la tubería ocasionen desalineación y esto conlleve a daños en los elementos y a fugas, se recomienda hacer un análisis de los esfuerzos admisibles para el tamaño de la tubería teniendo en cuenta los estándares NEMA (para esfuerzos admisibles en tuberías).
	La base del impulsor y de las equipos conducidas se mueven	Si la turbina y las unidades conducidas están en bases separadas cualquier movimiento causara una desalineación. Si las bases no son las adecuadas para sujetar ambas unidades una base en concreto deberá ser fabricada para fijar y asegurar una operación y movimiento similar entre ambas partes.
	Las bases están sometidas al calor de las tuberías	La distorsión causada por el calor en las bases o en fundiciones especialmente columnas, puede causar desalineamiento. Las tuberías deberán tener recubrimiento térmico o ser reacomodadas fuera de

		la base.
El gobernador: La velocidad cae demasiado con la carga normal	La válvula de conexión del gobernador esta desajustada; válvula pegada	Las válvulas del gobernador y de conexión deben estar ajustadas a fin de que las válvulas estén abiertas de par en par cuando el gobernador esté funcionando. El gobernador debe tener un recorrido de seguridad en la dirección de cierre para garantizar que la válvula se cierra completamente. La válvula de conexión debe ser revisada y limpiada para que el movimiento entre ambos pueda ser de abrir y cerrar.
La velocidad del gobernador aumenta excesivamente con pérdida de carga	Fuga en la válvula del gobernador	Revise la válvula y sus piezas asegurándose de que la fuga quede no tenga suciedad, en caso de no corregirse la fuga cámbiela por una nueva.
	El gobernador responde lentamente debido a un par de partes que están desgastadas o pegadas	Inspeccione todos los puntos giratorios en la conexión del gobernador que estén sometidas a desgaste o a que se peguen. Reemplace las partes dónde necesario. No lubrique o engrase las partes que deben estar limpias como las juntas. Limpie las válvulas de conexión o cierre.
El interruptor por sobre velocidad funciona adecuadamente pero la válvula no cierra.	Que el vástago de la válvula está trabado y apretado	Quítese, límpiese e inspecciónese. El vástago puede haberse doblado. El vástago y su buje pueden estar desgastado formándose claros excesivos e insuficiente guía. El vástago puede tener rebaba debido a depósitos de óxido producidos por mezclas de los componentes de la combustión de la caldera.
	La palanca aseguradora puede haberse corroído o puede estar demasiado apretada	Límpiela y ajústela
Inestabilidad del gobernador	Las piezas del gobernador están desgastadas o apretadas	Desmonte y limpie todas las piezas. Las piezas desgastadas deberán cambiarse
	El acoplamiento del gobernador está desgastado o apretado	Desmonte y limpie todas. Las piezas y localice el desgaste. Las piezas desgastadas deben sustituirse.
	El vástago de la válvula del gobernador está pegado	La protección del vástago de la válvula puede estar dañado o demasiado apretado, o bien, cubiertos de costras de óxido de los residuos de la combustión de la caldera. Desmonte, limpie e inspeccione todas las piezas. Limpie el vástago de la válvula y cambie su empaque.

	La válvula del gobernador tiene fugas	Puede deberse a depósitos de impurezas o cualquier materia extraña. Quite la válvula y remueva la costra tanto de la válvula como de su asiento. Debe tenerse especial cuidado como de su asiento. La válvula también puede tener fugas debido a un ajuste inadecuado del gobernador.
	Hay aire atrapado en el sistema de gobernadores accionados por aceite o hidráulicos	Libérese a través de la tubería de venteo a la atmosfera
Funcionamiento irregular	Excesiva fricción en la válvula de cierre del gobernador o esta se ha pegado. Aceite demasiado caliente, vapores de la válvula pueden ser corrosivos lo que hay espuma en el gobernador.	Esto es generalmente debido a la suciedad, el desgaste, o el daño mecánico. Limpie y reemplace cualquier parte que cause este problema (use solamente repuestos de la marca del fabricante). Los vapores de la válvula pueden ser corrosivos lo que haría que se acumulen depósitos y se peguen los accesorios.  Chequee si la viscosidad del aceite es correcta para la condición operativa y ambiental, verifique que no tenga aditivos o elementos que puedan causar espuma.
	El movimiento descoordinado, la válvula del gobernador no funciona acuerdo al movimiento del gobernador.	Esto es usualmente el resultado del desgaste excesivo en los puntos giratorios del conexionado. Reemplace las partes que lo requieran.
	Engranajes del gobernador desgastados	Reemplace los engranajes.
Respuesta lenta (mismas causas como funcionamiento irregular)	La turbina esta sobrecargada. Baja presión de vapor.	Verifique que la carga a la que esté sometida la turbina sea la adecuada según el data sheet, en caso de necesitar un reajuste, comuníquese con el departamento de ingeniería del fabricante.
La válvula mecánica de sobre-velocidad no funciona correctamente	Ajuste impropio, condiciones indeseables del mecanismo de cierre.	El disco de viaje de sobre-velocidad debería ser probado frecuentemente. Para probar, viajar a través del mecanismo de sobre-velocidad a mano o sobre-acelerando. Haga seguro los finales de la válvula de viaje.
	El indicador de sobre-	Quite el capuchón del rodamiento y examine el

	velocidad no marca la velocidad correcta	indicador de velocidad. Asegúrese de que esté libre de obstáculos y en buen estado y que el freno de emergencia esté en libertad para su activación fácil en caso de necesitarse. Pruebe la unidad cuidadosamente sobre-acelerando la unidad. Si todavía no se dispara en la velocidad correcta, ajuste la configuración del gobernador y del freno de emergencia según se requiera. Si el solenoide se dispara, verifique sus partes y cámbielas de ser necesario.
	El perno del interruptor esta gomoso, pegado y oxidado	Desmóntelo, límpielo y vuelva a colocarlo.
	Claro excesivo entre el perno del interruptor y el pistón	Retírense las piezas en busca de desgastes y cambie las desgastadas. Deben ajustarse a los claros recomendados.
El detonador y las Válvulas del Gobernador no funcionan	La fricción excesiva en el recorrido y el buje de la válvula del gobernador, ocasionan desgaste y daños mecánicos a la válvula del gobernador.	Estas fallas serias deberían corregirse limpiando y reemplazando las partes necesarias a fin de que este dispositivo de seguridad que es importante pueda funcionar de manera confiable. La causa usual, el vapor sucio, el compuesto de la caldera, etc.
La temperatura de la carcasa es mayor que el valor límite necesario para la desconexión del dispositivo de giro.	La bomba del aceite de elevación no está en servicio por una avería.	Buscar la causa de la avería y eliminarla.
	Es demasiado baja la presión del aceite de impulso. La corredera del aceite de impulsión está cerrada total o parcialmente.	Abrir la corredera del aceite de impulsión.
Resulta difícil o casi imposible girar el tramo del eje después de una parada	El rodete roza con la carcasa de la turbina o con las cajas de los cojinetes: diferencias de temperatura entre los puntos de medida de una carcasa.	No girar con violencia el tramo del eje. Buscar las causas de las diferencias entre temperatura en la carcasa y eliminarla. Una vez que hayan disminuido dichas diferencias de temperatura, girar el tramo del eje y poner en servicio el dispositivo de giro.
	El rodete esta torcido.	Girar con cuidado el rodete en 180°, a intervalos de 10 minutos aproximadamente. Tan pronto como empiece a reducirse la curvatura, poner en servicio

		el dispositivo de giro. Tener cuidado al arrancar de nuevo la turbina.
	Ha variado el estado de alineación: por diferentes causas; entre otras, por daños en los cojinetes o en los alabes.	Si es necesario controlar el estado de alineación de los cojinetes. Comprobar la turbina; si es preciso abrir la carcasa.
	Se han sobrepasado las dilataciones límites por lo que el rodete roza en sentido axial.	Esperar a que se normalicen las dilataciones.
Temperatura excesiva en el metal de los cojinetes.	Defecto en el cojinete.	Parar inmediatamente la turbina. Verificar los cojinetes, si hay deformaciones en ellos por suciedades o elementos extraños que causen estos daños, si se tiene el repuesto de estos cambiarlos de forma inmediata.
	Este perturbado el punto de medición de la temperatura: el termo elemento está roto.	Verificar que el medidor de temperatura esté funcionando correctamente y libre de suciedades en caso de daños conectar el segundo termoelemento del sensor.
	Hay un borne flojo.	Apretar el borne
	Esta des-calibrado el aparato registrador.	Localizar y subsanar la causa de la perturbación del aparato de medición, si este se encuentra defectuoso cambiarlo por uno nuevo.
Una o varias temperaturas del metal de un cojinete se modifican lentamente en el transcurso del servicio de la turbina	Se ha modificado la regularidad de marcha de la turbina, Hay modificación en la alineación del tramo del eje.	Controlar y corregir ocasionalmente el estado de alimentación.
La temperatura de salida del aceite en la tubería del retorno de los cojinetes no está en concordancia con el diseño.	Temperatura del aceite en la tubería de retorno. $T_r > T(\text{entrada}) + (15^\circ\text{C} \text{ o } 20^\circ\text{C})$ . La circulación del aceite es deficiente	Verificar el estado del aceite, en caso de haber perdido este sus propiedades cambiarlo de lo contrario elevar la circulación del aceite (consultar con el fabricante).
	La temperatura del aceite en la tubería de retorno. $T_r > T(\text{entrada}) + 10^\circ\text{C}$ . La circulación del aceite es	Verificar el estado del aceite, en caso de haber perdido este sus propiedades cambiarlo de lo contrario reducir la circulación (consultar fabricante).

	excesiva. Influencia perjudicial sobre el comportamiento de la pulga de aire).	
Crecimiento rápido de una o de varias temperaturas del cojinete axial	Defecto en el cojinete axial por empuje excesivo, por carga unilateral o por las influencias de cuerpos extraños (suciedad).	Parar inmediatamente la turbina para controlar la magnitud del empuje axial y el cojinete. Verificar el cojinete, si hay deformaciones en el por suciedades o elementos extraños que causen estos daños, si se tiene el repuesto de este cambiarlo de forma inmediata.
La indicación del dispositivo de medida de la posición del eje se modifica en el mismo sentido.	El empuje se ha modificado por ensuciamiento del sistema de alabes o por otras influencias del servicio (extracción, estrangulamiento de las válvulas).	Medir las presiones en las etapas o en el rendimiento interno. Controlar las condiciones del servicio (pre calentador) y la posición de las válvulas de ajuste.
Se ha atascado la caja del cojinete: la guía de paralelismo es insuficiente.	No son iguales las dilataciones a la derecha y a la izquierda de la caja del cojinete.	Medir la desviación de la caja del cojinete en dependencia del estado de temperatura de la carcasa de la turbina.
	Es insuficiente el deslizamiento en la caja del cojinete	Mejorar el paralelismo de la guía. Mejorar el deslizamiento (mejorar la superficie de deslizamiento).
Modificación de la excentricidad del eje.	El conjunto del rodete carga irregularmente el cojinete axial	Mejorar la alineación cuando se tenga ocasión de hacerlo
La temperatura del aceite es demasiado alta.	La válvula de ajuste de agua de refrigeración está totalmente cerrada o en malas condiciones.	Verificar el estado de la válvula, esta debe estar en óptimas condiciones de funcionamiento y debe estar abierta lo suficiente para que se pueda realizar el proceso de refrigeración del aceite.
	Avería en el sistema de refrigeración.	Buscar la causa de la avería existente en el sistema de refrigeración y eliminarla (purga de aire, bomba y caudal del agua).
	La presión del agua de refrigeración del agua es demasiado baja: falla de la bomba.	Conectar la bomba y abrir por completo los accesorios. En caso de no corregirse destapar la bomba y buscar su posible falla.
	Estrangulamiento en accesorios no abiertos	Abrir completamente los accesorios, en caso de no corregirse verificar el correcto funcionamiento de

	del todo.	ellos, si es el caso cambiarlos por unos nuevos.
	La válvula de cierre del refrigerador de aceite de reserva está abierta.	Cerrar la válvula de cierre.
	No sé a purgado lo suficiente el aire de aceite por el lado del agua.	Purgar el aire del refrigerador de aceite o por el lado del agua.
	El refrigerador de aceite está sucio o sus tuberías obstruidas.	Conmutar el refrigerador de aceite y limpiarlo.
	El dispositivo de purga del aire del refrigerador de aceite por el lado de este último no está abierto.	No se ha purgado el aire del aceite por el lado de este último por lo que se deben abrir las válvulas de purga del aire del refrigerador de aceite.
La temperatura del aceite es demasiado baja.	La turbina se ha puesto en marcha con excesiva rapidez.	Verificar los procedimientos de arranque del equipo.
	El aceite está demasiado frio.	Esperar que aumente la temperatura de aceite. Poner en marcha la segunda bomba auxiliar de aceite. Esperar a que aumente la temperatura del aceite.
El aceite forma mucha espuma en el depósito.	Excesiva absorción de aire en el sistema de aceite.	Tomar una muestra del aceite para verificar sus propiedades ya que entre estas estos aceites contiene aditivos antiespumantes que combaten esta formación de espumas con el aire, una vez verificado esto y dependiendo de los resultados de debe cambiar el aceite. Los resultados deben ser comparados acuerdo a la norma ASTM-D4378-97.
La muestra del aceite contiene muchas burbujas de aire.	La corredera del aceite de impulsión está ajustada a más del 8%.	Cerrar la corredera del aceite de impulsión.
	El volante impulsor se sumerge.	Comprobar el nivel de aceite en la caja del cojinete.
	Fugas internas en la caja de los cojinetes.	Localizar las fugas de aceite y subsanarlas.
	Falta de hermeticidad	Someter a presión a la tubería de aspiración durante

	en la tubería de aspiración.	la parada y controlarla.
	El caudal de aceite en circulación es excesivo.	Reducir el caudal de aceite de los cojinetes.
El nivel de aceite es demasiado bajo.	El tiempo de permanencia del aceite en el depósito es demasiado breve.	Recargar el aceite. Buscar la causa de la pérdida de aceite y eliminarla.
El aceite está muy lechoso (formación de emulsiones).	El aceite contiene agua	Extraer la muestra la muestra de aceite del fondo del depósito. Separar el agua del aceite manualmente y rellenar el tanque.
	Falta de hermeticidad en los refrigeradores de aceite	Controlar la hermeticidad de los refrigeradores de aceite y repararlos.
Aceite sucio	Durante el servicio normal la atmosfera ambiente contiene gran cantidad de polvo. Lo que hace que la suciedad penetre por las cajas de los cojinetes a través de los filos de obturación, a través de las aberturas existentes en el depósito de aceite y por la cámara de aceite por las bocas de las purga de aire.	Mantener el aire ambiente exento de polvo. Reducir la depresión existente en las cajas de los cojinetes. Mejorar el cierre del depósito de aceite. Poner transitoriamente filtros en las bocas de la purga de aire.
	Filtros deteriorados	Cambiar los elementos interiores de los filtros
El dispositivo de cierre rápido no puede llevarse a la posición de servicio	Avería mecánica o eléctrica en el dispositivo de limitación del arranque y de la apertura.	Funcionamiento defectuoso del dispositivo de limitación del arranque y de la apertura, se debe buscar la falla mecánica o eléctrica y subsanarla.
No se dispara el dispositivo de cierre rápido	Avería mecánica en la válvula magnética para el disparo a distancia del cierre rápido. Avería	Funcionamiento defectuoso al accionar el disparo a distancia de cierre rápido. En caso de peligro, provocar localmente el cierre rápido de forma inmediata. Separar la válvula magnética para el

	eléctrica en la válvula magnética para el disparo de cierre rápido	disparo a distancia del cierre rápido. Buscar la causa de la avería y eliminarla.
La presión del aceite para el despegue del dispositivo de cierre rápido es demasiado alta o baja.	Avería mecánica en el dispositivo de cierre rápido	Reparar el dispositivo de cierre rápido, corregir la presión del aceite para el despegue.
La válvula de cierre rápido no se cierra. Al producirse el disparo del cierre rápido.	Está atascado el husillo o la guía de la válvula de cierre rápido.	Parar el generador de vapor y dejar sin presión las tuberías de entrada de este último, antes de que se desconecte el generador eléctrico de la red.  Repasar las válvulas de cierre rápido.
La válvula de cierre rápido no se abre al producirse la presión del aceite de arranque	La corredera de comprobación está en posición de cierre por manipulación errónea.	Llevar la corredera de comprobación a la posición de apertura.
	La corredera de comprobación está en apertura porque se atasca o por cuerpos extraños	Desatascar la corredera de comprobación. En caso de necesitarse abrirla y limpiarla.
Diferencias excesivas entre la temperatura de la parte inferior y superior de la carcasa	No se ha purgado perfectamente el agua de la carcasa o de las tuberías de vapor.	Comprobar la posición de las válvulas de purga de agua y el calentamiento de las tuberías. Abrir las válvulas de purga del agua que estén cerradas si sospechan que están obstruida algunas tuberías, golpearlas y limpiarlas.
	No se han cerrado a tiempo los dispositivos de purga de agua (no es uniforme el caudal del vapor que se pasa por la turbina).	Cerrar las válvulas de purga del agua.
	Es insuficiente el caudal del vapor que pasa por la carcasa de la turbina. Indicación errónea de la disposición de medida.	Aumentar el caudal del vapor. Controlar los dispositivos de medida, contrastarlos y si es necesario, corregir la indicación; cambiar el par termoeléctrico. Comprobar la presión del apriete y el punto de incorporación de los pares termoeléctricos.
	No es uniforme la evacuación del calor por formarse un	Apretar la protección térmica contra la parte inferior de la carcasa, mediante bandas. Mejorar la protección térmica defectuosa.

	espacio vacío entre la carcasa y la protección térmica.	
	Influencia de las temperaturas de la carcasa por falta de hermeticidad de los órganos de obturación que hay dentro de la turbina.	Al efectuarse la revisión, medir la holgura de los órganos de obturación y comprobar su estado. Si es necesario, repararlos o cambiarlos.
Dilatación de la carcasa mayor de lo normal	Temperaturas más elevadas del vapor de entrada.	Normalizar las temperaturas del vapor de entrada.
	Temperaturas internas del vapor más altas por haber fugas internas o por haber empeorado el rendimiento.	Determinar las causas de las variaciones de las temperaturas internas del vapor, medir el rendimiento interno.
	Mayores temperaturas internas del vapor debido a condiciones de servicio anormales, por ejemplo marcha en vacío	Comprobar las dilataciones de la carcasa, después de finalizado el servicio bajo condiciones anormales.
	Mal deslizamiento de las cajas de los cojinetes después de haberse reducido las temperaturas internas del vapor, por haber disminuido la potencia.	Mejorar el deslizamiento de las cajas de los cojinetes durante las paradas o revisiones.
La presión del vapor vivo es demasiado alta	La potencia del generador de vapor es mayor que la de la turbina.	Adaptar la potencia del generador de vapor a la turbina.
	Avería en la regulación del generador de vapor.	Buscar la causa de la avería y eliminarla.
	No se encuentra en servicio la regulación	Poner en servicio la regulación de la presión en el generador de vapor.

	de la presión en el generador de vapor.	
	El valor teórico de la presión ajustado en la regulación del generador de vapor, es demasiado alto.	Ajustar un valor teórico inferior de la presión en el sistema de regulación del generador de vapor.
la presión del vapor vivo es demasiado baja	La potencia del generador de vapor es menor que la de la turbina.	Adaptar la potencia del generador de vapor a la de la turbina
	La regulación del generador de vapor esta perturbada o el dispositivo de desviación de alta presión se abre como consecuencia de una avería.	Buscar la causa de la avería y eliminarla.
	El sistema de regulación de la presión del generador de vapor no se encuentra en servicio.	Poner en servicio la regulación de la presión del generador de vapor.
	Demasiado bajo el valor teórico de la presión ajustado en el sistema de regulación del generador de vapor.	Aumentar el valor teórico de la presión ajustado en el sistema de regulación del generador de vapor.
Fugas en el alojamiento de los anillos de carbón	Anillos rotos o dañados al montarlos.	Quítelos, revíselos y vuélvalos a instalar.
	Anillos desgastados	En caso de emergencia este defecto puede corregirse rebajando un poco los extremos de cada segmento de anillo. Esta es una reparación provisional. Se recomienda instalar anillos nuevos.
	Posibles fugas entre la superficie del anillo y la correspondiente superficie del alojamiento.	Se debe normalmente a la existencia de impurezas o costra de óxido procedente de la combustión o del sellador usado en la junta. Limpie las superficies pero sin dañarlas
La válvula de ajuste no reacciona frente a	La válvula de ajuste se atasca porque son	Reparar la válvula, establecer las holguras teóricas.

los impulsos transmitidos al accionamiento de ajuste de la carrera.	demasiado pequeñas las holguras del husillo y de las guías, debido a errores de ajuste, sedimentos, oxidación y similares.	
	El husillo de las guías se ha agarrotado	Cambiar el husillo de la válvula, alisar las guías.
	El husillo presenta una curvatura pronunciada.	Cambiar el husillo
	El cierre del husillo es excéntrico y no tiene movilidad en sentido radial.	Reparar el cierre del husillo
La válvula de ajuste no cierra.	La válvula de ajuste se atasca. Hay cuerpos extraños en el asiento de la válvula	Verificar el estado de la válvula, limpiarla si es el caso repararla, si no se soluciona cambiarla.
	Reducida la fuerza de cierre del muelle	Comprobar la fuerza del muelle
falta hermeticidad en las válvulas de ajuste	Esta desgastada la superficie de obturación del husillo.	Retocar o cambiar el asiento y las superficies de obturación del husillo.
	Hay cuerpos extraños en el asiento de la válvula.	Verificar el estado de la válvula, limpiarla si es el caso repararla, si no se soluciona cambiarla.
La válvula de ajuste produce mucho ruido al funcionar y se producen fuertes vibraciones del husillo.	Son excesivas las holguras del husillo o de las guías	Cambiar el husillo de la válvula y los anillos de obturación.
	Es demasiado grande la holgura axial del cierre del husillo.	Reparar el cierre del husillo
El husillo de la válvula de ajuste desprende gran cantidad de vapor o de aire	Las fuertes vibraciones del husillo han gastado la empaquetadura	Cambiar el husillo y los accesorios de obturación para reparar la válvula, si es el caso cambie la empaquetadura.

Diferencias de temperaturas en las carcasas, golpes de ariete en las tuberías	son insuficientes las purgas de agua efectuadas en las carcasas o en las tuberías de vapor durante la puesta en marcha	Abrir los dispositivos de purga del agua y repetir cuantas veces sea necesario para purgar el agua.
	La tubería de purga del agua esta obstaculizada	Desatracar la tubería de purga del agua.
	Los dispositivos eléctricos de purga del agua están averiados: Avería en mando eléctrico o en accionamiento.	Buscar la causa de la avería y eliminarla.
	Los dispositivos mecánicos de purga del agua están averiados: Avería mecánica de las válvulas de purga del agua.	Buscar la causa de la avería y eliminarla.
	Los órganos de cierre manual existentes en las tuberías de purga del agua están cerrados.	Abrir los accesorios de cierre manual existentes.
Perdidas de vapor a través de los dispositivos de purga del agua durante el servicio bajo carga	No están cerrados los dispositivos de purga del agua	Cerrar los dispositivos de purga del agua.
	Falta de hermeticidad en las válvulas correspondientes, debido a fenómenos de erosión o por estar deteriorados los asientos como consecuencia de la acción de cuerpos extraños.	Verificar el estado de limpieza del elemento, en caso de necesitarse cambiar el husillo y los accesorios de obturación para reparar la válvula, si es el caso cambie la empaquetadura.

	Avería en el mando eléctrico o en accionamiento	Buscar la causa de la avería y eliminarla
	Avería mecánica (agarrotamiento) en las válvulas de purga del agua.	Buscar la causa de la avería y eliminarla
La válvula de toma no se abre	El aparato de vigilancia de las diferencias de presión, situado en la tubería de toma, no libera la apertura.	Es demasiada alta la presión existente por detrás de la válvula de toma por lo que se debe reducir la presión o aumentar la potencia.
	El mando a distancia no se encuentra en la posición de apertura.	Accionar el mando a distancia, en caso de no funcionar este busque la causa de la avería y elimínela.
	Está atascada la corredera de maniobra	Reparar la corredera de maniobra.

Las averías que se producen en las partes principales de la turbina, los rodetes y las carcasas, son las que influyen en mayor medida sobre la disponibilidad. Las averías primarias insignificantes o las irregularidades en el servicio pueden originar en dichas partes daños que requieren reparaciones de importancia con una inversión considerable de gastos y tiempo.

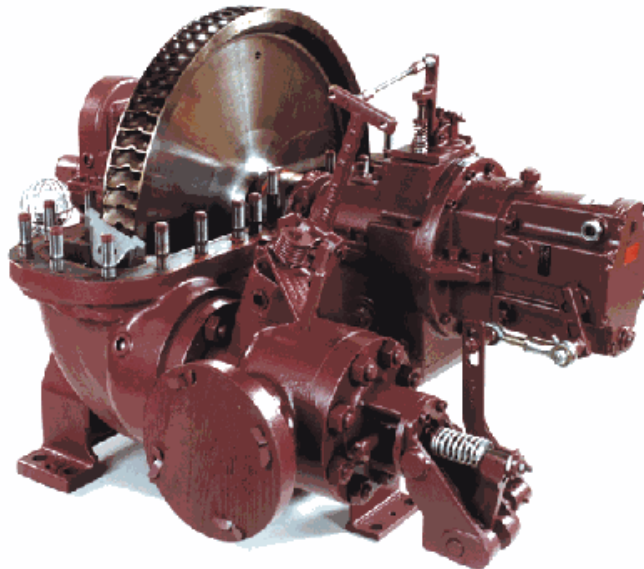
Para desempeñar las funciones de supervisión en la sala de control, el personal de operarios disponen de los siguientes medios auxiliares:

- ✓ Instrumentos de medida, indicadores.
- ✓ Instrumentos de medida registradores, que permitan detectar valores absolutos y tendencias de variación.
- ✓ Sistemas de aviso acústico y óptico, o solamente óptico.
- ✓ Indicadores de posición o del estado de servicio.
- ✓ Los valores indicados por los instrumentos se deben comparar con otros normales que se tomaran del protocolo de los valores de servicio que vienen en el data sheet de la turbina.

## 5.4 MANTENIMIENTO, RUTINAS E INSPECCIONES

**5.4.1 Mantenimiento Preventivo.** Una turbina de vapor es un equipo especialmente agradecido con el mantenimiento preventivo. Al ser un equipo en general bien conocido (es la máquina térmica más antigua), los fabricantes suelen haber resuelto ya la mayor parte de sus problemas de diseño. Por tanto, una operación cuidadosa y un adecuado plan de mantenimiento programado se traducen necesariamente en una alta disponibilidad.

Figura 12 Turbina a Vapor Marca Dresser-Rand Modelo GLT 360



Ficha Técnica turbina a vapor Dresser Rand

Mantenimiento Operativo Diario:

- ✓ Comprobación de alarmas y avisos, revisar los sensores, actuadores, válvulas de control, panel de control y demás elementos que nos ayuden a dar avisos de posibles fallas.

- ✓ Vigilancia de parámetros (niveles de vibración, revoluciones, temperaturas de entrada y salida del vapor, presiones de entrada y salida, presión, temperatura y caudal de aceite de lubricación, presión de vacío del depósito de aceite de lubricación, comprobación de nivel de aceite, presión diferencial de filtros, entre otros)
- ✓ Inspección visual de la turbina y sus auxiliares (fugas de aceite, fugas de vapor, fugas de agua de refrigeración, ruidos y vibraciones anormales, registro de indicadores visuales)

#### Mantenimiento Quincenal:

- ✓ Inspección visual de la turbina, realizar control visual sobre posibles fisuras, vibraciones u otro detalle que presente la máquina.
- ✓ Inspección de fugas de aceite, comprobar el sistema hidráulico que no posea fugas
- ✓ Limpieza de aceite (si procede), si el aceite ha perdido sus cualidades, y sobrepasa el índice de impureza permitido por la norma, este debe proceder a cambiarse para que se realice la correcta lubricación.
- ✓ Comprobación del nivel de aceite, comprobar que no haya consumo excesivo de aceite por parte de la turbina, en caso de que halla este se deberá por fuga.
- ✓ Inspección de fugas de vapor, revisar la entrada de vapor y el paso del mismo por los alabes de la turbina, puede que uno de los alabes estén deteriorado a causa del uso.
- ✓ Inspección de fugas de agua de refrigeración, al igual que el sistema de lubricación este puede presentar fugas debido a diversos factores tales como corrosión.
- ✓ Inspección visual de la bancada, revisar los puntos de anclaje de la turbina, ya que estos con la vibración pueden tender a perder el apoyo, y aumentar la vibración en la máquina.

- ✓ Purga de agua del aceite de lubricación, en caso de que el agua este sucia, esto hace que el índice de transferencia de calor baja por lo cual el aceite no estará a la temperatura ideal para lubricar.
- ✓ Inspección visual del grupo hidráulico de aceite de control, observar que no se presenten ninguna anomalía con el sistema que lubrica toda la turbina.
- ✓ Inspección visual del sistema de eliminación de vahos

#### Mantenimiento mensual:

- ✓ Muestra de aceite para análisis, esto nos ayudara a ver como esta internamente los elementos de la turbinas, tomar acciones preventivas ante cualquier eventualidad.
- ✓ Purga de agua del aceite, cambiar el agua para mantener las cualidades de aceite lubricante.
- ✓ Comprobación de lubricación de reductor y de alternador, verificar la correcta lubricación de estos elementos nos ayuda a que la maquina trabaje correctamente, y que no se presenten desgastes de rodamientos en los elementos.
- ✓ Análisis del espectro de vibración en turbina, reductor y alternador, a velocidad nominal, realizar pruebas con la maquina en marcha y verificar a distintas velocidades.

#### Mantenimiento anual:

Si se realizan todas las actividades que se detallan en esta lista, en realidad se están eliminando todas las causas que provocan las averías más frecuentes. Si se compara esta lista de tareas con la lista de averías más frecuentes se puede comprobar que esta revisión está orientada a evitar todos los problemas habituales de las turbinas. La razón de la alta disponibilidad de estos equipos cuando se realiza el mantenimiento de forma rigurosa es que realmente se está actuando sobre las causas que provocan las principales averías.

Análisis del espectro de vibración de turbina, reductor y alternador, a distintas velocidades y en aceleración. Se verifica así la posible ausencia de problemas en cojinetes, el estado de la alineación y el equilibrado de los tres equipos. Es importante tener en cuenta que es mucho más adecuado realizar el análisis con los detectores de posición del eje con los van equipados las turbinas, en vez de hacerlo con sensores tipo 'acelerómetro' que se instalan en la carcasa.

- ✓ Inspección boroscópica de álabes. Con esta tarea se comprueba el estado de los álabes, las posibles incrustaciones que puedan haber aparecido en la superficie de éstos y defectos en algunos de ellos, por roces o impactos
- ✓ Apertura de cojinetes y comprobación del estado. Cambio de cojinetes si procede. La mayor parte de los cojinetes pueden cambiarse o revisarse sin necesidad de abrir la turbina. Esto garantiza un funcionamiento ausente de vibraciones causadas por el mal estado de los cojinetes de apoyo y/o empuje
- ✓ Cambio de aceite, si procede (según análisis). Si es necesario se sustituye el aceite, pero no es habitual cambiar el aceite de forma sistemática sin haber detectado síntomas de que está en mal estado. Esta acción evita trabajar con un aceite en mal estado y garantiza la ausencia de problemas de lubricación
- ✓ Cambio de filtros de aceite. Esto garantiza el buen estado del aceite y la filtración de partículas extrañas
- ✓ Inspección de la válvula de regulación de turbina. Esto garantiza el buen estado de los elementos internos de la válvula, su correcto funcionamiento, y la comprobación del filtro de vapor de la válvula, lo que hará que la regulación sea la correcta, no haya problemas de sincronización ni de regulación y no pasen elementos extraños a la turbina que puedan haber sido arrastrados por el vapor
- ✓ Inspección del grupo hidráulico. Cambio de filtros y de aceite, si procede

- ✓ Inspección del sistema de eliminación de vahos. El funcionamiento a vacío del depósito de aceite garantiza que los vapores que se produzcan, especialmente los relacionados con el agua que pueda llevar mezclado el aceite, se eliminan. Eso ayudará a que la calidad del aceite de lubricación sea la adecuada
- ✓ Comprobación de pares de apriete de tornillos. El apriete de los tornillos de sujeción a la bancada y los tornillos de la carcasa, entre otros, deben ser revisado. Esto evitará, entre otros, problemas de vibraciones debidos a un deficiente anclaje
- ✓ Comprobación de alineación de turbina-reductor y reductor-alternador. Se haya detectado o no en el análisis de vibraciones, es conveniente comprobar la alineación mediante láser al menos una vez al año. Esto evitará problemas de vibraciones
- ✓ Comprobación del estado de acoplamiento turbina reductor y reductor-alternador. La comprobación visual de estos acoplamientos elásticos evitará entre otros efectos la aparición de problemas de vibración
- ✓ Calibración de la instrumentación. Muchas de las señales incorrectas y medidas falsas que provocarán un mal funcionamiento de la turbina pueden ser evitados con una calibración sistemática de toda la instrumentación
- ✓ Inspección visual de los sellos laberínticos, por si se hubieran dañado desde la última inspección
- ✓ Comprobación de la presión del vapor de sellos. La presión de sellos debe estar regulada a una presión determinada, ni más ni menos. Una menor presión hará que el vapor escape al exterior, se pierda energía y se puedan provocar algunos daños (en algunos casos la contaminación del aceite, al entrar ese vapor en el cojinete, que suele estar muy cerca; en otros, puede afectar a algún sensor de medida no preparado para recibir el vapor caliente)

- ✓ Termografía de la turbina. Esta prueba, a realizar con la turbina en marcha, permitirá saber si se están produciendo pérdidas de rendimiento por un deficiente aislamiento o por fugas de vapor
- ✓ Limpieza y mantenimiento del cuadro de control. Curiosamente, muchas averías en sistemas eléctricos y electrónicos están causados por la suciedad. Mantener los cuadros en su correcto estado de limpieza garantiza la ausencia de estos problemas
- ✓ Inspección del virador. El virador es un elemento importantísimo durante las paradas. Un mal funcionamiento supondrá una dificultad o imposibilidad de arrancar la turbina. La inspección es sencilla y garantiza el correcto arranque tras una parada
- ✓ Prueba de potencia. Al finalizar la inspección será conveniente comprobar las prestaciones de la turbina, especialmente la potencia máxima que es capaz de alcanzar
- ✓ Limpieza de alternador. La limpieza interior del alternador especialmente los que se refrigeran por aire, suelen realizarlo empresas especializadas, con productos especiales. Garantiza la ausencia de graves averías, como
- ✓ Verificación eléctrica del alternador. Es necesario verificar tanto el alternador como sus protecciones. En el caso de que el personal habitual no tenga los conocimientos oportunos es conveniente realizarlo con empresas especializadas
- ✓ Cambio de filtros del alternador. Los filtros de aire del alternador, especialmente en los refrigerados con aire, tienen como misión garantizar que aire en contacto con los bobinados está limpio. La comprobación del estado de estos filtros y su sustitución aprovechando la parada anual suelen garantizar la ausencia de problemas en la filtración del aire.

## 6 CONCLUSIONES

Puede decirse que hasta hace 50 años la turbina de vapor era solamente una máquina de experimentación comparado con el lugar preponderante que hoy ocupa como maquina motriz.

La turbina de vapor consiste en una turbo-máquina que produce energía mecánica a partir de un flujo de vapor. El funcionamiento de la turbina de vapor se basa en el principio termodinámico que expresa que cuando el vapor se expande disminuye su temperatura y se reduce su energía interna.

Estas turbo-maquinas pueden dividirse en dos grandes grupos: las turbinas de acción (la expansión del vapor se realiza en el estator); y las turbinas de reacción (la expansión se realiza en el rotor).

También podemos decir que las turbinas están compuestas por dos partes: el rotor y el estator. El rotor está formado por ruedas de alabes unidas al eje y que constituye la parte móvil de la turbina; y el estator también está formado por alabes, pero no unidos al eje sino a la carcasa de la turbina.

El éxito en la aplicación de las turbinas industriales en lo que respecta a su rendimiento y la obtención de su máxima economía, dependen en gran parte del servicio, el mantenimiento, las inspecciones y el correcto uso de esta.

Por lo anterior se debe tener la premisa de que todos los elementos o sistemas de las turbinas de vapor, se deben cuidar con mucho interés. Con el aporte del presente proyecto, se logra implementar una gran ayuda didáctico-práctica para complementar la labor del personal de técnicos, operarios e ingenieros de ECOPETROL y a su vez ayudaría a los estudiantes de las carreras relacionadas a esta máquina a tener una perspectiva de su funcionamiento, las fallas y mantenimientos a realizar.

## GLOSARIO

- ✓ Actuator: es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control como, por ejemplo, una válvula.
- ✓ Aditivo: sustancia química agregada a un producto para mejorar sus propiedades.
- ✓ Confiabilidad. Buena funcionalidad de la maquinaria y equipo dentro de una industria en definitiva el grado de confianza que proporcione una planta
- ✓ Defecto. Suceso que ocurre en una máquina que no impide el funcionamiento.
- ✓ Diagnóstico. Dar a conocer las causas de un evento ocurrido en el equipo o máquina o evaluar su situación y su desempeño.
- ✓ Dilatación: al aumento de longitud, volumen o alguna otra dimensión métrica que sufre un cuerpo físico debido al aumento de temperatura que se provoca en ella por cualquier medio.
- ✓ Disponibilidad. Porcentaje de tiempo de buen funcionamiento de una maquina o equipo por ente de toda la industria es decir producción óptima.
- ✓ Entalpia: es una magnitud termodinámica, cuya variación expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, es decir, la cantidad de energía que un sistema puede intercambiar con su entorno.
- ✓ Entrenamiento. Preparar o adiestrar al personal del equipo de mantenimiento, para que sea capaz de actuar eficientemente en las actividades de mantenimiento.
- ✓ Entropía: es una magnitud física que permite, mediante cálculo, determinar la parte de la energía que no puede utilizarse para producir trabajo.
- ✓ Ejector: Bomba de chorro para desalojar o hacer circular un fluido con ayuda de otro fluido que circula a gran velocidad.

- ✓ Falla o avería. Daño que impide el buen funcionamiento de la maquinaria o equipo.
- ✓ Holgura: Amplitud o anchura de una cosa, que hace que algo o alguien quepa en ella con espacio de sobras.
- ✓ Mantener. Conjunto de acciones para que las instalaciones y máquinas de una industria funcionen adecuadamente.
- ✓ Mejorar. Pasar de un estado a otro que de mayor desempeño de la máquina o equipo.
- ✓ Planificar. Trazar un plan o proyecto de las actividades que se van a realizar en un periodo de tiempo.
- ✓ Prevención. Preparación o disposición que se hace con anticipación ante un riesgo de falla o avería de una máquina o equipo.
- ✓ Producción. Es un proceso mediante el cual se genera utilidades a la industria.
- ✓ Purgado: Limpiar y purificar una cosa quitándole lo malo, lo peligroso o lo que no conviene.
- ✓ Reparación. Solución de una falla o avería para que la maquinaria o equipo este en estado operativo.
- ✓ Seguridad. Asegurar el equipo y personal para el buen funcionamiento de la planta, para prevenir condiciones que afecten a la persona o la industria.
- ✓ Sensor: Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.
- ✓ Tribología: es la ciencia que estudia la fricción, el desgaste y la lubricación que tienen lugar durante el contacto entre superficies sólidas en movimiento.
- ✓ Turbo maquina: es una máquina cuyo elemento principal es un rodete (rotor) a través del cual pasa un fluido de forma continua, cambiando éste su cantidad de movimiento por acción de la máquina, dándose así una transferencia de energía entre la máquina y el fluido, la cual puede ser en sentido máquina-fluido o fluido-máquina.
- ✓ Vahos: vapor que despiden los cuerpos en determinadas condiciones.

## BIBLIOGRAFIA

- ✓ BAUMEISTER Y MARKS, "Manual de Ingeniería Mecánica". Sexta Edición. México, Uteha 1978
- ✓ CHAPMAN Lawrence B, The Marine Power Plant. Editorial McGraw Hill. New York 1942
- ✓ Dr. Stodola A., "Steam and Gas Turbines Vol. I," Meter Smith, USA., 1945
- ✓ Dr. Toledo Velázquez Miguel, "Turbinas de Vapor," Laboratorio de Ingeniería Térmica e Hidráulica Aplicada. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica Aplicada y Eléctrica. Sección de Estudios de Postgrado e Investigación. Instituto Politécnico Nacional. México, D.F., 2003.
- ✓ Dr. Golden Frederick M., Ing. Batres de la Vega Luis, M. en C. Terrones M. Guillermo, "Termofluidos, Turbomáquinas y Máquinas Térmicas," Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V., 1989.
- ✓ DUBBEL H, Manual del Constructor de Maquinas. Octava Edición Tomo I y II. Editorial Laboral S.A. España 1958
- ✓ GAFFERT G. A, Centrales de Vapor. Primera edición. Reverte S.A. España 1975
- ✓ GUTIERREZ DE ROZAS SALTERAIN, José Lorenzo. Turbomaquinas Térmicas. Bilbao (España). UNBE. 2002. 242 p.
- ✓ HEINZ P, Bloch. Guía práctica para la tecnología de las turbinas a vapor. México. Mc Graw Hill. 1998. 348 p.
- ✓ Historial de fallas de la turbina a vapor GLT-360 marca DRESSER-RAND, ECOPEPETROL Cartagena.
- ✓ ISO 14224 Industria de Petróleo y Gas – Recolección e Intercambio de Datos de Confiabilidad y Mantenimiento de Equipos
- ✓ MARTINEZ de Vedia, Turbinas de Vapor. Tercera Edición. Editorial Universidad Nacional de la Plata. Argentina 1944
- ✓ Mataix Claudio, "Turbomáquinas Térmicas," Editorial Limusa, 3ª Ed. España, 2000.

- ✓ MATAIX Claudio, Turbomáquinas Térmicas. Primera Edición. Editorial Dossat. España 1973
- ✓ OREDA Offshore Reliability Data 3rd Edition.
- ✓ RENOVETEC. Averías en turbinas a vapor. Madrid (España).
- ✓ RENOVETEC. Ingeniería del mantenimiento. Madrid (España).
- ✓ RENOVETEC. Mantenimientos de turbinas a vapor. Madrid (España).
- ✓ S.L. Dixon, B.Eng., Ph.D “Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery,” Butterworth Heinemann, 4th Ed. USA, 1998.
- ✓ SANFELIU YAÑES, Juan y MORALES NUÑEZ, Rafael. Manual Didáctico Práctico de Turbinas de Vapor.
- ✓ SCHEGLIAIEV A. V. Turbinas de Vapor. Tomo I y II. Editorial Mir de Moscú, Rusia 1978
- ✓ Schegliaiev. Turbinas de Vapor. Ed Mir. Moscú. 1978.
- ✓ SIEMENS. Turbinas de Vapor Industriales. Earlangen (Alemania). 2009
- ✓ STODOLA. Steam and gas turbines. Mac Graw Hill. New York. 1927.
- ✓ SWIFT Charles Donald, Planta de Vapor, Arranque, Pruebas y Operación. Segunda Edición. Editorial C.E.C S.A México 1975.
- ✓ Tarjetas de funcionamiento de la turbina a vapor GLT-360 marca DRESSER-RAND, ECOPEPETROL Cartagena.

## ANEXO A

(Data sheet turbina a vapor DRESSER-RAND GLT-360)

Condición de operación	HP/KW	RPM	Tasa de vapor LB/HP/HP LB/KW/HR	Rango de operaciones de velocidad RPM
Normal	20	1170	148.8	1287-1053

Velocidad mínima crítica 7200 rpm velocidad máxima crítica 1480 rpm

Condición del vapor

Entrada de vapor

Norm 140 psig 480 deg. Ftt

Escape de vapor

Norm 15 psig 418 deg. Ftt

Garantizar punto para la tasa de vapor, hp 15 psig 140 deg. Ftt

Exh 418 deg. Ftt 3/hp, kw hr 139.9

Temperatura de escape a plena carga 418 deg. Ftt presión máxima de caja 75 psig

Advertencia ajuste de la válvula 25 psig

Conexión de la turbina	Tamaño	Clasificación	Brida de cara	Posición
Entrada	2pulg	600#	ANSI RF	Lado
Escape	4pulg	150#	ANSI RF	Axial
Reinicio emergencia de drenado	0.5pulg	600#	ANSI RF	Lado

La turbina de vapor GLT-360 es de simple etapa, su flujo helicoidal, de tipo con impulso de re-entrada. La turbina está diseñada para simplificar su construcción y su mantenimiento ha de ser mínimo. Las partes esenciales son: un anillo de vapor de acero fundido (el cual está integrado) y su carcasa que maneja un conexionado tipo brida para la salida al exhosto.

El rotor consiste en una rueda de acero sólido forjado con alabes maquinados en toda su circunferencia. La rueda está montada sobre un eje que se apoya en dos cojinetes de bola de alta temperatura, sellados, autolubricados instalados cada uno en su respectivo alojamiento, los cuales están atornillados directamente a la carcasa de la turbina.

El control de velocidad es regulado por un gobernador hidráulico marca WOODWARD TG-13S, este se opera través de la válvula del gobernador la cual es de conexión mecánica. El gobernador está montado en la tapa del cojinete, y se auto lubrica por el engranaje del eje de la turbina

La protección por sobre velocidad esta provista por una válvula de cierre de accionamiento manual independiente, la cual está incorporada en el gobernador y está situada en el eje de la turbina adyacente al cojinete de acople.

La rotación de la turbina puede ser puesta al revés simplemente reverenciando la rotación del gobernador WOODWARD, la posición de la rueda de la turbina y las boquillas de vapor combinada poniendo al revés cámaras, ninguna de estas partes requiere que sea nueva excepto los empaques.