

**MANUAL DE FUNCIONAMIENTO, FALLAS Y MANTENIMIENTO PARA  
TURBINAS A VAPOR DE REFCAR**

**JULIO ALFONSO SALAZAR ENRIQUEZ**

**FABIAN ANDRES MARTINEZ MARTINEZ**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**

**CARTAGENA**

**2011**

**MANUAL DE FUNCIONAMIENTO, FALLAS Y MANTENIMIENTO PARA  
TURBINAS A VAPOR DE REFCAR**

**JULIO ALFONSO SALAZAR ENRIQUEZ**

**FABIAN ANDRES MARTINEZ MARTINEZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de  
Ingeniero Mecánico**

**Director: LUIS ALFONSO NUÑEZ**

**Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**

**CARTAGENA**

**2011**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Cartagena 23 de Noviembre de 2011**

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



En primera instancia gracias a dios, por mantenerme con vida y cumplir con muchas metas, aunque este solo uno de los que vendrán en mi vida, pero muy importante para mi desarrollo como persona y profesional. Gracias de todo corazón a mis padres por apoyarme, por siempre estar ahí cuando más los he necesitado y por guiarme en el sendero del bien. A mis amigos por los buenos momentos que hemos pasado tanto en las buenas como en las malas, fueron un apoyo más para seguir adelante.

Julio Salazar

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan su agradecimiento a:

REFICAR SA y en su nombre a los Ingenieros Alfonso Núñez y Juan Martínez quienes con su conocimiento, confianza y consejos nos orientaron y apoyaron siempre para llevar a feliz término este trabajo de grado.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
1. DEFINICION DEL PROBLEMA	3
1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	3
1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA	3
1.3 DESCRIPCION DEL PROBLEMA	3
2. JUSTIFICACION	5
2.1 JUSTIFICACION TEORICA	5
2.2 JUSTIFICACION METODOLOGICA	5
3. OBJETIVOS	6
3.1 OBJETIVO GENERAL	6
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	6
4. MARCO REFERENCIAL	7
4.1 MARCO CONCEPTUAL	7
4.1.1 Turbinas De Vapor Y Su Clasificación	7
4.1.1.1 La turbina de vapor	7
4.1.1.2 Clasificación de las turbinas a vapor	8
4.1.1.3 Esquema de transformación de una turbina	10
4.1.1.4 Papel de la turbina en la central térmica	11

4.1.2	Generador De Vapor O Caldera	12
4.1.3	Control de Calidad del Agua	12
4.1.3.1	Consideraciones en el agua de alimentación	12
4.1.3.2	Control de solidos disueltos totales	13
4.1.3.3	Control de alcalinidad	14
4.1.3.4	Control de dureza total	15
4.1.4	Sumario de calidad del agua	17
4.1.4.1	Solidos disueltos totales (TDS)	17
4.1.4.2	Alcalinidad	17
4.1.4.3	Dureza	17
4.1.5	Generador De Corriente Alterna O Alternador	18
4.1.6	Taxonomía	18
4.1.7	Mantenimiento	20
4.1.7.1	Que es el Mantenimiento	20
4.1.7.2	Objetivos del mantenimiento.	21
4.1.7.3	Cantidad de mantenimiento	22
4.1.7.4	Tipos de mantenimiento	22
4.2	MARCO HISTORICO	24
5	DISEÑO METODOLOGICO	27
5.1	TAXONOMIA	27

5.2 FUNCIONAMIENTO	28
5.2.1 Subunidad De Energía	28
5.2.1.1 Tuberías	28
5.2.1.2 Cojinete radial y de empuje	29
5.2.1.3 Rotor	30
5.2.1.4 Alabes	31
5.2.1.5 Sellos	32
5.2.1.6 Estator/Carcasa	34
5.2.1.7 Válvulas	36
5.2.2 Subunidad De Condensación	37
5.2.2.1 Condensador	37
5.2.2.2 Bomba reguladora	38
5.2.2.3 Bomba de vacío	39
5.2.3 Sub-Unidad De Regulación	39
5.2.3.1 Filtro	39
5.2.3.2 Bomba	40
5.2.4 Sub-Unidad De Lubricación	41
5.2.4.1 Enfriador	41
5.2.4.2 Filtro	42
5.2.4.3 Aceite	42

5.2.4.4 Sello de la bomba de aceite	43
5.2.4.5 Tubería	43
5.2.4.6 Bomba	44
5.2.4.7 Motor	44
5.2.4.8 Deposito	44
5.2.4.9 Válvulas	45
5.2.5 Sub-Unidad Control Y Seguimiento	45
5.2.5.1 Control	45
5.2.5.2 Dispositivo de actuación	45
5.2.5.3 Monitoreo	46
5.2.5.4 Válvula	46
5.2.5.5 Fuente de alimentación interna	46
5.2.6 Sub-Unidad Varios	47
5.2.6.1 Sistema de arranque	47
5.2.6.2 Caperuza o carcasa	47
5.3 FALLAS, CAUSAS Y CORRECCIONES	48
5.4 MANTENIMIENTO, RUTINAS E INSPECCIONES	69
5.4.1 Mantenimiento Preventivo	69
6 CONCLUSIONES	75
GLOSARIO	76

BIBLIOGRAFIA	78
ANEXOS	79
ANEXO A DATA SHEET TURBINA A VAPOR GLT 360 DRESSER RAND	79

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Calidad recomendada para calderas	18
Tabla 2. Taxonomía	20
Tabla 3. Taxonomía de las Turbinas a vapor	27
Tabla 4. Fallas, Causas de las mismas y Correcciones	50



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de Transformación de la Energía	11
Figura 2. Pirámide Jerárquica	19
Figura 3. Turbina de Hero	24
Figura 4. Turbina de Brance	25
Figura 5. Tuberías	29
Figura 6. Cojinete radial y de empuje	30
Figura 7 Rotor	31
Figura 8. Alabes	32
Figura 9. Sellos	33
Figura 10. Estator	35
Figura 11. Válvulas	37
Figura 12. Condensador	38
Figura 13. Bomba Reguladora	38
Figura 14. Bomba de vacío	39
Figura 15. Filtros	40
Figura 16. Bomba	41
Figura 17 Enfriador	41
Figura 18. Filtros	42

Figura 19. sellos para la bomba de aceite	43
Figura 20 Motor	44
Figura 21 Depósito	45
Figura 22 Dispositivo de actuación	46
Figura 23 Fuente de alimentación interna	47
Figura 24 Sistema de Arranque	47
Figura 25 carcasa	48
Figura 26 Turbina a Vapor Marca Dresser-Rand Modelo GLT 360	69

## RESUMEN

**TITULO:** MANUAL DE FUNCIONAMIENTO, FALLAS Y MANTENIMIENTO PARA TURBINAS A VAPOR DE REFICAR

**AUTORES:** JULIO ALFONSO SALAZAR ENRIQUEZ, FABIAN ANDRES MARTINEZ MARTINEZ

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

**DESCRIPCION O CONTENIDO:** Este trabajo de grado desarrolla un modelo sencillo para la descripción del funcionamiento de la turbina a Vapor GLT 360 Marca DRESSER-RAND de REFICAR. Para su descripción nos basamos 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 nuestro 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 nuestro trabajo, con una frecuencia que va del día a día hasta periodos de un año.

## SUMMARY

**TITLE:** MANUAL OF FUNCTIONING, FAULTS AND MAINTENANCE FOR STEAM TURBINES OF REFCAR

**AUTHORS:** JULIO ALFONSO SALAZAR ENRIQUEZ, FABIAN ANDRES MARTINEZ MARTINEZ

**KEY WORDS:** Steam Turbine, Faults, Causes, Maintenance, Reparation.

**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 REFCAR. We were 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 we 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 we related that to him activity comes true to offset these events. This point is one of the fortresses of our 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.

## INTRODUCCION

El presente proyecto 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 REFICAR.

Hemos considerado de gran utilidad para nuestro fin y beneficio de la empresa, el de desarrollar una guía teórica complementada 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.

Este trabajo está dividido en varias secciones, entre estas secciones tratamos 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. Describimos 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 REFICAR se parara hasta que esta fuera reparada. Aunque hoy en día REFICAR 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 manual 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 funcionamiento, las fallas y el mantenimiento que se le debe suministrar a las turbinas a vapor de REFICAR 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.

Con el desarrollo de un manual de funcionamiento, fallas y mantenimiento para turbinas a vapor, REFICAR 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

este manual 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 dicho manual garantiza tanto a REFICAR y a los estudiantes en dicha materia, el entender de una forma teórico-práctica el funcionamiento de las turbinas a vapor.

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

### **2.2 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA**

Las estrategias metodológicas que utilizaremos 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 obtendremos:
  - 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.
- ✓ Diseño del manual para turbinas a vapor de REFICAR.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un manual que permita conocer el funcionamiento de las turbinas a vapor de REFICAR, 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 CONCEPTUAL

#### 4.1.1 Turbinas De Vapor Y Su Clasificación

**4.1.1.1 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>1</sup>

**4.1.1.2 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>2</sup>

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

- ✓ Turbinas de acción: cuando el vapor se expansiona 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 expansiona también en el rodete de modo que la presión en el fluido a la entrada en este es mayor que en la salida.

---

<sup>1</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 6 de julio de 2011]

<sup>2</sup>RENOVETEC. Turbinas de vapor y su clasificación. [en línea]. <<http://www.cicloscombinados.com/turbinasdevapor.html>>. [consultado el 6 de julio de 2011].

- ✓ 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>3</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>4</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>5</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>6</sup>

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

---

<sup>3</sup> Ibid. P 3

<sup>4</sup> Ibid. P 4

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

<sup>6</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>7</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>8</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>9</sup>

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

Energía potencial → Energía cinética → Trabajo exterior.

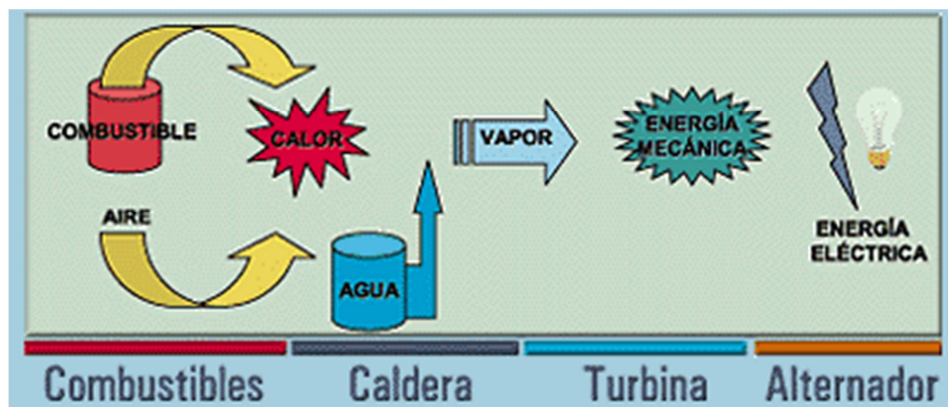
---

<sup>7</sup> Ibid. P 5

<sup>8</sup> Ibid. P 6

<sup>9</sup> Ibid. P 6

Figura 1. Esquema de Transformación de la Energía



**4.1.1.4 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>10</sup>

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

<sup>10</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>>

equipo auxiliar sin cuyo apoyo no sería posible el funcionamiento de dichos elementos principales, los cuales se relacionan a continuación:

**4.1.2 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>11</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.

#### **4.1.3 Control de Calidad del Agua**

**4.1.3.1 Consideraciones en al agua de alimentación.** Las calderas necesitan pre tratamiento externo en la alimentación del agua o make-up dependiendo del tipo de caldera, la presión de operación, o del sistema total. Tratamiento químico interno es necesario, dependiendo del tratamiento externo del agua. El tratamiento externo del agua reduce la dosificación de productos químicos y los costos totales de operación. Esta sección está enfocada principalmente a la reducción de Dureza Total en el agua mediante equipos de intercambio iónico. Los Sólidos Disueltos Totales y la Alcalinidad son también muy importantes por lo que los vamos a comentar en forma más superficial.

---

<sup>11</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 6 de julio de 2011].



**4.1.3.2 Control de Sólidos Disueltos Totales.** Cuando el agua es evaporada y se forma vapor, los minerales o sólidos disueltos y suspendidos en el agua, permanecen dentro de la caldera. El agua de reposición contiene una carga normal de minerales disueltos, estos hacen que se incrementen los sólidos disueltos totales dentro de la caldera. Después de un periodo de tiempo los sólidos disueltos totales (TDS) alcanzan niveles críticos dentro de la caldera. Estos niveles en calderas de baja presión se recomienda que no excedan 3500 ppm (partes por millón o miligramos por litro). TDS por encima de este rango pueden causar espuma, lo que va a generar arrastres de altos contenidos de TDS en las líneas de vapor, las válvulas y las tramas de vapor. El incremento en los niveles de TDS dentro de la caldera es conocido como “ciclos de concentración”, este término es empleado muy seguido en la operación y control de la caldera. Agua de alimentación que contiene 175 ppm de TDS puede ser concentrada hasta 20 veces para alcanzar un máximo de 3500 ppm. Para explicar mejor los ciclos de concentración empleamos el siguiente ejemplo, si nosotros tenemos 20 botellas de un galón, cada una de ellas contiene 175 ppm de TDS y 19 de estas botellas es evaporado, dejando el contenido de sólidos de 175 ppm de cada uno dentro de la última botella de agua, la mezcla de las sales de las 19 botellas con la última botella de agua nos dará como resultado 20 ciclos de concentración. Recordemos que la máxima cantidad recomendada de sólidos disueltos totales TDS en una caldera de baja presión es de 3500 ppm. En Calderas de mayores presiones de operación los límites de TDS disminuyen en relación a la presión de operación.

Para controlar los niveles máximos permisibles de TDS, el operador debe de abrir en forma periódica la válvula de purga de la caldera. La purga es el primer paso para el control del agua en la caldera y esta debe de ser en periodos o intervalos de tiempo. La frecuencia es dependiendo la cantidad de TDS en el agua de reposición y de la cantidad de agua de reposición introducida. En calderas grandes o más críticas las purgas deben de ser automáticas o continuas.

**4.1.3.3 Control de la Alcalinidad.** Adicionalmente al control de los ciclos de concentración de los TDS, la alcalinidad debe de ser considerada con mucha precaución. Los niveles de alcalinidad cuando se tienen calderas de baja presión, no deben de exceder las 700 ppm. La presencia de alcalinidad por encima de los 700 ppm puede resultar en un rompimiento de los bicarbonatos produciendo carbonatos y liberando CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) libre en el vapor. La presencia de CO<sub>2</sub> en el vapor generalmente se tiene como resultado un vapor altamente corrosivo, causando daños por corrosión en las líneas de vapor y retorno de condensados. El nivel de alcalinidad generalmente controla el total de ciclos de concentración en la caldera. Si el agua de reposición contiene 70 ppm de alcalinidad total en una caldera que no deba de exceder la concentración de 700 ppm se podrá operar a 10 ciclos de concentración ( $700 \text{ ppm} / 70 \text{ ppm} = 10 \text{ ciclos}$ ). Revisando el ejemplo previo si se considera que esta caldera no debe de exceder los 3500 ppm de TDS en el interior de la caldera, y si el agua de reposición tiene 175 ppm de TDS esto significa que en base a TDS el agua puede operar a 20 ciclos de concentración ( $3500 \text{ ppm} / 175 \text{ ppm} = 20 \text{ ciclos}$ )

Pero si nosotros basamos nuestros ciclos de concentración en los TDS, la alcalinidad en el interior de la caldera alcanzara los 1400 ppm ( $70 \text{ ppm de alcalinidad} \times 20 \text{ ciclos} = 1400 \text{ ppm}$ ), se excederá el límite de los 700 . Por lo tanto la purga en la caldera en este ejemplo deberá de ser realizada en base a la alcalinidad y no en base a los TDS. Aunque esta sección no está enfocado a la alcalinidad o el tratamiento de la alcalinidad, pero debe de ser obvio que es mejor tener menor purga en la caldera o mayor número de ciclos de concentración (la purga se convierte en perdida de calor y energía) por lo tanto en algunas ocasiones un De-alcalinizador debe de ser empleado. La reducción de la alcalinidad puede hacer que el control de la purga y los ciclos de concentración se realice en base a los niveles de TDS.

La de-alcalinización es un proceso por el cual agua suavizada es pasada hacia una unidad que contiene resina aniónica. La resina aniónica remueve aniones como sulfatos, nitratos, carbonatos y bicarbonatos, estos aniones son reemplazados por cloruros. Sal (cloruro de sodio) es empleada para regenerar la resina aniónica cuando esta se satura.

La necesidad de emplear agua suavizada en el equipo De-alcalinizador es por el peligro de precipitación de carbonato de calcio y de hidróxido de magnesio en la cama del De-alcalinizador. Por lo cual, la cama de intercambio iónico del anión obstruirá con materia suspendida. Esto es porque la resina del De-alcalinizador es más ligera que la convencional de un suavizador, por lo tanto el retrolavado es mucho menor y este es insuficiente para remover la materia suspendida. Emplear un suavizador como pre tratamiento sirve además de eliminar la dureza del agua como protección al De-alcalinizador.

La concentración permitida en el interior de la caldera de TDS al igual que de alcalinidad va disminuyendo a medida que la capacidad de la caldera de presión se va incrementando. Esto se puede observar en la Tabla A incluida en el sumario de calidad de agua.

**4.1.3.4 Control de Dureza Total.** Hasta ahora hemos descrito en pocas palabras lo correspondiente a la concentración de TDS y alcalinidad dentro de la caldera, el tratamiento y efecto de la dureza total en el agua debe de ser revisada al detalle. La formación de incrustación en las superficies de la caldera es el problema más serio encontrado en la generación de vapor.

La primera causa de la formación de incrustación, es debido al hecho de que la solubilidad de las sales decrece a medida de que se incrementa la temperatura aumentando la facilidad de precipitación. Consecuentemente, la alta temperatura (y presión) en la operación de las calderas, las sales se vuelven más insolubles, la

precipitación o incrustación aparece. Esta incrustación puede ser prevenida de ser formada en las calderas mediante el empleo de un tratamiento externo. (Suavizador).

Como sea para alcanzar un alto grado de eficiencia, se recomienda el control de la dureza antes de entrar a la caldera , el suavizador en sí mismo es un medio muy adecuado para proteger a la caldera de incrustación. El uso de tratamiento internos (productos químicos) , son empleados como complementos , para mantener un control de la incrustación en la caldera altamente efectivo. En todos los casos, se tendrá un pequeño remanente de dureza en el agua de alimentación a la caldera , incluso en el agua suavizada, además de encontrar otras sales presentes . Por lo tanto el uso de compañías proveedoras de productos químicos para el tratamiento de la caldera es necesario. La presencia de incrustación en la caldera es equivalente a extender una pequeña capa de aislamiento a lo largo y en toda el área de calentamiento , esta material aislante térmico va a retardar y/o impedir la transferencia del calor , causando pérdidas de eficiencia en la caldera , por lo tanto incrementa el consumo de energía.

Un estudio realizado por la WQA (Water Quality Association) en 1980 en calentadores convencionales residenciales, demostró un efecto muy significativo en la eficiencia de transferencia de calor, cuando la incrustación estaba presente. La incrustación presente en esos sistemas resulto en un consumo adicional del 22% en BTU's en unidades operadas con gas y en un 17% en unidades operadas con electricidad. Además más importante que el efecto de perdida en la transferencia de calor e incremento en consumo de energía, es que la incrustación puede causar un sobre calentamiento en el metal de los tubos de la caldera, generando fallas de rompimiento en los tubos. Este problema requiere una costosa reparación además de tener que sacar a la caldera del servicio. En las calderas modernas con alta eficiencia de transferencia de calor, la presencia e incluso extremadamente delgada de incrustación, puede causar una muy seria

elevación de la temperatura en los tubos de metal. La cubierta de incrustación retarda el flujo de calor del horno hacia el agua para generar vapor, esta resistencia al calor resulta en un rápido incremento en la temperatura del metal al punto en donde se presenta la falla. El posible daño causado en la caldera no es solo costoso, además es muy peligroso debido a que la caldera opera a presión.

Un hecho real ofrecido en esta sección, es que la presencia de cualquier tipo de incrustación en la caldera debe de ser considerada con mucha importancia. Como se comentó la incrustación puede ser prevenida de formarse en las calderas de forma interna (productos químicos) y/o externa (suavizador). Como sea el tratamiento interno solo es más costoso y se incrementa a elevados rangos de dureza. El uso de un suavizador de agua en conjunto con un tratamiento químico es más efectivo, confiable, seguro y económico, significa control de la calidad del agua en una caldera.

#### **4.1.4 Sumario de calidad del Agua.**

Antes de discutir técnicas de selección de un equipo suavizador de agua, permítanos revisar rápidamente la calidad del agua en las tres principales áreas, TDS (sólidos disueltos totales), alcalinidad y dureza.

**4.1.4.1 Sólidos Disueltos Totales (TDS).** La concentración máxima de TDS en una caldera de baja presión es 3500 ppm

**4.1.4.2 Alcalinidad.** La concentración máxima de alcalinidad en una caldera de baja presión es 700 Ppm.

**4.1.4.3• Dureza.** La dureza máxima permitida en cualquier caldera, debe de ser prácticamente “cero” ppm.

Tabla 1 calidad recomendada para calderas

Caldera de vapor Presión (PSI)		Máximo TDS(ppm)	Máximo Alcalinidad	Máximo Dureza
Menor	300	3500	700	20
301	450	3000	600	0
451	600	2500	500	0
601	750	2000	400	0
751	900	1500	300	0
901	1000	1250	250	0
1001	1500	1000	200	0
1501	2000	750	150	0
2001	3000	150	100	0

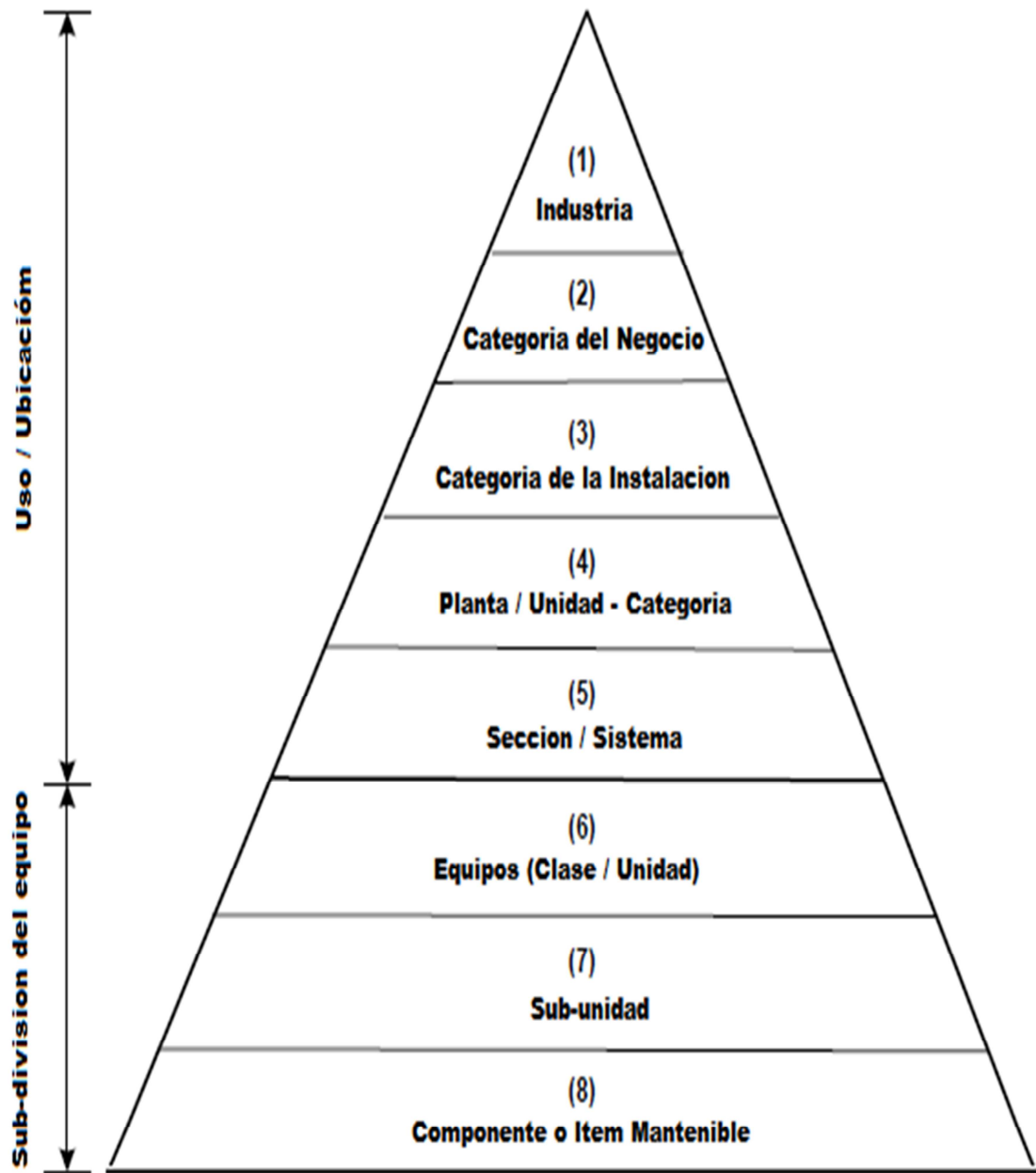
Obviamente en la presente tabla, se indica que a mayor presión en una caldera, el proceso y la necesidad de tener mejor calidad de agua es necesaria.

**4.1.5 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.

**4.1.6 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 esta norma internacional está representada por una jerarquía que se muestra en la Figura 9.<sup>12</sup>

<sup>12</sup> INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Draft International Standard ISO/DIS 14224. EEUU. ANSI. 2004. P 31.

Figura 2. .Pirámide Jerárquica



Las definiciones de cada segmento se aprecian a continuación, además de ejemplos de los diferentes flujos de negocio y tipos de equipos como se ilustra en Tabla 2.

Tabla 2. 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 item 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>13</sup>

#### 4.1.7 Mantenimiento

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

<sup>13</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>14</sup>

#### **4.1.7.2 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>14</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>15</sup>

**4.1.7.3 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>16</sup>

**4.1.7.4 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>15</sup> *Ibíd.* P 8-9

<sup>16</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>17</sup>

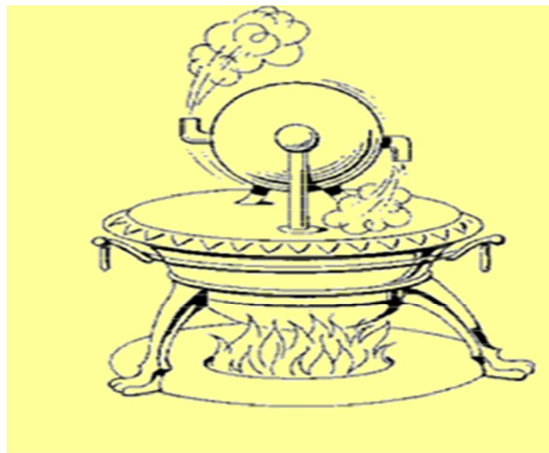
---

<sup>17</sup> Ibíd. P 10-11

## 4.2 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 aj.

Figura 3. Turbina de Hero

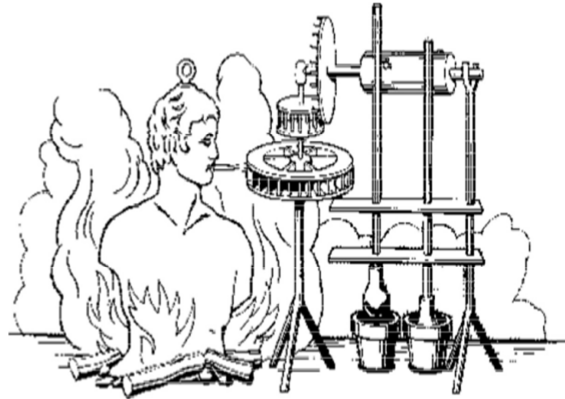


Esta turbina estaba formada por una esfera hueca que giraba libremente sobre un eje diametral. Los extremos del eje prolongaban en dos conductos que a la par apoyaban la esfera hacía los conductos por los que ascendía el vapor hasta el interior de la misma. A través de dos espitas situadas según un eje 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 4. Turbina de Brance



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>18</sup>

---

<sup>18</sup> UNIVERSITAT JAUME ICAMPUS DEL RIU SEC. Historia de la turbina a vapor. España. [en línea]. <<http://www.emc.uji.es/asignatura/obtener.php?letra=3&codigo=59&fichero=1083858240359>>. [consultado el 6 de julio de 2011].

## 5 DISEÑO METODOLOGICO

### 5.1 TAXONOMIA

Tabla 3. 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	Control Dispositivo de actuación Monitoreo Válvulas Fuente de alimentación interna	Sist. de Arranque Caperuza
					Válvulas Depósito Válvulas			

## 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>19</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>19</sup> GOTERA VALBUENA, Eddin Rafael. Diseño de Tuberías, consideraciones generales y criterios de diseño. México. 2006. P 3.



Figura 5. Tuberías para el transporte del vapor



**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>20</sup>

Figura 6. Cojinetes radial y de empuje



**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

---

<sup>20</sup> RENOVETEC. Principales Elementos de las –turbinas a –vapor. [en línea] <<http://www.plantasdecogeneracion.com/principaleselementosturbinasvapor.html>>. [consultado el 6 de julio de 2011]

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 alineaciones 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>21</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.

Figura 7 Rotor



**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.

---

<sup>21</sup> *Ibíd.*

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.

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

Figura 8. Alabes



**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>22</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 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 REFICAR Cartagena.

Figura 9. Sellos



---

<sup>22</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 6 de julio de 2011]

**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 auténtica, 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>23</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, e n 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.

Figura 10. Estatorr



---

<sup>23</sup>RENOVETEC.OpCit.

[enlínea] <<http://www.plantasdegeneracion.com/principaleselementosturbinasvapor.html>>. [consultado el 6 de julio de 2011]

**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 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>24</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.

---

<sup>24</sup>UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA. Departamento de ingeniería eléctrica. Elementos finales de Control. Chile.P2. [enlínea].  
<[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 6 de julio de 2011]



Figura 11. Válvulas



## 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 gases del condensador que está bajo vacío. Esto puede hacerse con bombas de vacío o con eyectores de vapor.<sup>25</sup>

---

<sup>25</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 6 de julio de 2011]

Figura 12. Condensador



**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.

Figura 13 Bomba Reguladora



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

Figura 14. Bomba de vacío



### 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
- ✓ 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>26</sup>

Figura 15 Filtros



**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).

---

<sup>26</sup> TEXACO. Mantenimientos a filtros y aceites. [en línea]. <<http://www.texaco.es/es/ct/mantenimiento/index.html>>. [consultado el 6 de julio de 2011]

Figura 16 Bomba



#### 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>27</sup>

Figura 17. Enfriador



---

<sup>27</sup>HIDROTERM. Intercambiadores de calor. [en línea]. <<http://www.hidroterm.com.ve/documentacion/intercambiadoresdecalor.pdf>>. [consultado el 6 de julio de 2011]

**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.

Figura 18 Filtros



**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>28</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>29</sup>

Figura 19 sellos para la bomba de aceite



**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.

---

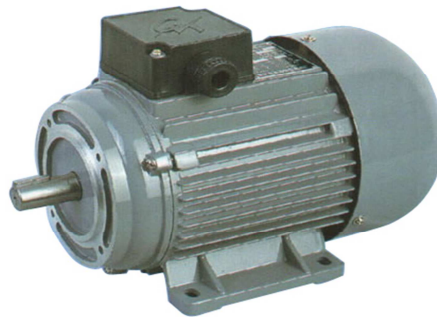
<sup>28</sup> TEXAS INDUSTRIAL SOLUTION ADVANCED LUBRICANTS. Aceites y Lubricantes. P 5 [en línea]. <<http://texas.cl/servicios.php?id=13>>. [consultado el 6 de julio de 2011]

<sup>29</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 6 de julio de 2011]

**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.

Figura 20. Motor



**5.2.4.8 Deposito** 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.

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.



Figura 21 Depósito



**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 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>30</sup>

Figura 22. Dispositivo de actuación



**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 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.

---

<sup>30</sup>MITECNOLÓGICO. Actuadores. [en línea]. <<http://www.mitecnologico.com/Main/TiposDeValvulasDeControl>>. [consultado el 6 de julio de 2011]

Figura 23 Fuente de alimentación interna



## 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.

Figura 24 Sistema de Arrranque



**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>31</sup>

Figura 25 Carcasa



### 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

---

<sup>31</sup> RENOVETEC. Principales Elementos de las –turbinas a –vapor. [en línea] <<http://www.plantasdegeneracion.com/principaleselementosturbinasvapor.html>>. [consultado el 6 de julio de 2011]

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 manual 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>32</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 4. 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, consúltele 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 en la válvula de admisión o alta presión en el tubo de escape (exhosto)	Cerciórese de que la línea de vapor no sea pequeña 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.

<sup>32</sup> NETO CHUSIN. Op cit. P 18

	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 desgastados o dañados	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 está 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	Desmonte 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 respectivo alojamiento	Contacte al departamento de ingeniería del proveedor para obtener las mejores 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 el	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

	suficiente espacio libre para permitir el goteo de vapor que ayude al enfriamiento y a la impermeabilización	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 máquina 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 o una de sus líneas demasiado pequeñas restringiendo el flujo. Trampa de vapor no trabaja, contrapresión excesiva.	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 está 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 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 temperaturas. Reemplace sólo con estos ya que son los

		recomendables por el fabricante.
	Desalineación	Esta 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 donde 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, límpiase 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	Libérese a través de la tubería de venteo a la atmósfera

	sistema de gobernadores accionados por aceite o hidráulicos	
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 está 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-velocidad no marca la velocidad correcta	Quite el capuchón del rodamiento y examine el 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	Si es necesario controlar el estado de alineación de los cojinetes. Comprobar la turbina; si es preciso

	otras, por daños en los cojinetes o en los alabes.	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 termoelemento 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 excesiva. Influencia perjudicial sobre el comportamiento de la pulga de aire).	Verificar el estado del aceite, en caso de haber perdido este sus propiedades cambiarlo de lo contrario reducir la circulación (consultar fabricante).
Crecimiento rápido de una o de varias	Defecto en el cojinete axial por empuje	Parar inmediatamente la turbina para controlar la magnitud del empuje axial y el cojinete. Verificar el

temperaturas del cojinete axial	excesivo, por carga unilateral o por las influencias de cuerpos extraños (suciedad).	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 demasiada 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 del todo.	Abrir completamente los accesorios, en caso de no corregirse verificar el correcto funcionamiento de 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 frío.	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 en la tubería de aspiración.	Someter a presión a la tubería de aspiración durante 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 eléctrica en la válvula magnética para el disparo de cierre rápido	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 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	Avería mecánica en el dispositivo de cierre	Reparar el dispositivo de cierre rápido, corregir la

rápido es demasiado alta o baja.	rápido	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 espacio vacío entre la carcasa y la protección térmica.	Apretar la protección térmica contra la parte inferior de la carcasa, mediante bandas. Mejorar la protección térmica defectuosa.
	Influencia de las temperaturas de la carcasa por falta de	Al efectuarse la revisión, medir la holgura de los órganos de obturación y comprobar su estado. Si es

	hermeticidad de los órganos de obturación que hay dentro de la turbina.	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 alto 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 de la presión en el generador de vapor.	Poner en servicio la regulación de la presión en el generador de vapor.
	El valor teórico de la presión ajustado en la regulación del generador de vapor, es	Ajustar un valor teórico inferior de la presión en el sistema de regulación del generador de vapor.

	demasiado alto.	
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 los impulsos transmitidos al accionamiento de ajuste de la carrera.	La válvula de ajuste se atasca porque son demasiado pequeñas las holguras del husillo y de las guías, debido a errores de ajuste, sedimentos, oxidación y similares.	Reparar la válvula, establecer las holguras teóricas.

	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 carcassas, golpes de ariete en las tuberías	son insuficientes las purgas de agua efectuadas en las carcassas o en las tuberías de vapor durante la puesta en	Abrir los dispositivos de purga del agua y repetir cuantas veces sea necesario para purgar el agua.

	marcha	
	La tubería de purga del agua esta obstaculizada	Desatranca 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	Buscar la causa de la avería y eliminarla

	las válvulas de purga del agua.	
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:

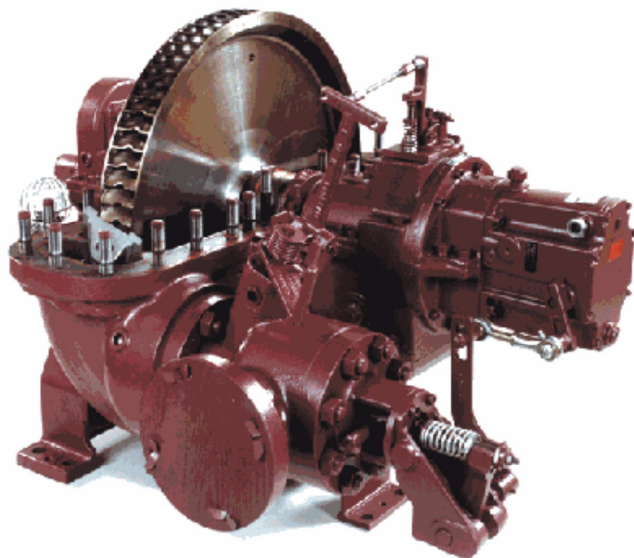
- ✓ Instrumentos de medida, indicadores.
- ✓ Instrumentos de medida registradores, que permitan detectar valores absolutos y tendencias de variación.
- ✓ Sistemas de aviso acústico y óptico, o solamente óptico.
- ✓ Indicadores de posición o del estado de servicio.
- ✓ Los valores indicados por los instrumentos 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 26 Turbina a Vapor Marca Dresser-Rand Modelo GLT 360



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-practica para complementar la labor del personal de técnicos, operarios e ingenieros de REFICAR 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.
- ✓ Eyector: 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

- ✓ 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.
- ✓ GUTIERREZ DE ROZAS SALTERAIN, José Lorenzo. Turbomáquinas 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.
- ✓ ISO 14224 Industria de Petróleo y Gas – Recolección e Intercambio de Datos de Confiabilidad y Mantenimiento de Equipos
- ✓ Mataix Claudio, "Turbomáquinas Térmicas," Editorial Limusa, 3ª Ed. España, 2000.
- ✓ 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.
- ✓ SIEMENS. Turbinas de Vapor Industriales. Earlangen (Alemania). 2009

ANEXO A

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

<h1 style="margin: 0;">FLUOR</h1>					JOB NUMBER: _____ ITEM NUMBER: 1FW-P-0200/0300-TD				
<b>GENERAL PURPOSE STEAM TURBINE DATA SHEET (API 611 - 4TH EDITION) U. S. CUSTOMARY UNITS PAGE 1 OF 3</b>					PURCHASE ORDER NUMBER: _____				
					SPECIFICATION NUMBER: _____				
					REV.	DATE	BY	APPROVED	ISSUE FOR
A	11/19/87	FJM	AM	BEW PUMP RFD					
B	7/27/89	KAS		AS BUILT					

1 APPLICABLE TO: <input checked="" type="radio"/> PROPSAL <input type="radio"/> PURCHASE <input checked="" type="radio"/> AS BUILT									
2 FOR: _____					UNIT: _____				
3 SITE: _____					NUMBER REQUIRED: TWO (2)				
4 SERVICE: _____					DRIVEN EQUIPMENT: BOILER FEED WATER PUMP				
5 MANUFACTURER: DRESSER-RAND WELLSVILLE, NY USA					MODEL: GLT 360 SERIAL NUMBER: 08H6181 & 08H6192				
NOTE: NUMBERS WITHIN ( ) REFER TO APPLICABLE API STANDARD 611 PARAGRAPHS.									
8 NOTE: <input checked="" type="radio"/> INDICATES INFORMATION TO BE COMPLETED BY PURCHASER <input type="radio"/> BY MANUFACTURER <input type="radio"/> BY EITHER									
<b>PERFORMANCE AND OPERATING CONDITIONS</b>									
OPERATING		SHAFT			INLET			EXHAUST	
POINTS	POWER	SPEED	FLOW	PRESSURE	TEMP.	NUMBER HAND	PRESSURE	TEMP.	ENTHALPY
<input type="radio"/> AS APPL.	HP	RPM	LB/HR	PSIG	°FTT	VALVES OPEN	PSIG	°FTT	BTU / LB
12 NORMAL	1118	3580	45009.79	925	775		235	561.4	
13 RATED	1260	3560	48267.12	925	749	0	235	555.5	
14 OTHER (4.1.4)	1260	3560	49531.13	900	725	0	240	534.6	
15 <b>DUTY, SITE, AND UTILITY DATA</b>					15 <b>VARIATIONS IN STEAM CONDITIONS</b>				
16 APPLICATION IS (SPARED OR UNSPARED) _____ SPARED					<input checked="" type="radio"/> INLET				
17 <input type="radio"/> WIDE SPEED RANGE <input type="radio"/> RAPID START					NORMAL 925 PSIG @ 749 °FTT				
18 <input type="radio"/> SLOW ROLL REQUIRED (4.10.4) <input type="radio"/> HAND VALVES REQ. (5.4.1.5)					MAXIMUM 925 PSIG @ 775 °FTT				
19 DUTY: <input checked="" type="radio"/> CONTINUOUS <input type="radio"/> STANDBY					MINIMUM 900** PSIG @ 725 °FTT				
20 <input type="radio"/> UNATTENDED AUTOMATIC START (4.1.6)					<input checked="" type="radio"/> EXHAUST				
21 LOCATION: <input type="radio"/> INDOOR <input type="radio"/> HEATED <input checked="" type="radio"/> UNHEATED					NORMAL 235 PSIG @ 561.4 °FTT				
22 <input checked="" type="radio"/> OUTDOOR <input type="radio"/> ROOF <input checked="" type="radio"/> W/O ROOF					MAXIMUM 240 PSIG @ °FTT				
23 AMBIENT TEMPERATURE, °F: MINIMUM 36 MAXIMUM 103					MINIMUM 200 PSIG @ °FTT				
24 UNUSUAL CONDITIONS: <input type="radio"/> DUST <input type="radio"/> SALT ATMOSPHERE					<b>CONSTRUCTION</b>				
25 (4.1.14) <input checked="" type="radio"/> OTHER (REFINERY)					TURBINE TYPE: <input checked="" type="radio"/> HORIZONTAL <input type="radio"/> VERTICAL				
26 ELECTRICAL AREA CLASSIFICATION: <input checked="" type="radio"/> UNCLASSIFIED					NUMBER OF STAGES: 1 WHEEL DIAMETER, INCH: 24				
27 <input type="radio"/> CLASS _____ GROUP: _____ DIVISION _____					ROTOR <input checked="" type="radio"/> BUILTUP <input type="radio"/> SOLID <input type="radio"/> OVERHUNG				
28 CONTROL POWER: 120 VOLT 1 PHASE 60 HERTZ					<input type="radio"/> BETWEEN BEARINGS				
29 AUXILIARY MOTOR 480 VOLT 3 PHASE 60 HERTZ					BLADING: <input checked="" type="radio"/> 2 ROW <input type="radio"/> 3 ROW <input type="radio"/> RE-ENTRY				
30 COOLING WATER: PRESSURE _____ PSIG @ _____ D PSI					CASING SPLIT: <input checked="" type="radio"/> AXIAL <input type="radio"/> RADIAL				
31 120 °F <input type="radio"/> FLOW _____ GPM @ _____ D T, °F					CASING SUPPORT: <input checked="" type="radio"/> CENTERLINE <input type="radio"/> FOOT				
32 ALLOWABLE SOUND PRESSURE LEVEL: _____ dBA @ 3 FEET					<input checked="" type="radio"/> VERTICAL JACKSCREWS (4.2.13)				
<b>TURBINE DATA</b>					VERTICAL TURBINE FLANGE				
33 <input checked="" type="checkbox"/> ALLOWABLE SPEEDS, RPM: 5600 MAX <900 MIN					<input type="radio"/> NEMA "P" BASE <input type="radio"/> OTHER (4.4.9)				
34 <input checked="" type="checkbox"/> MAXIMUM CONTINUOUS SPEED, RPM (3.1.10) 3738					TRIP VALVE <input type="radio"/> INTEGRAL <input checked="" type="radio"/> SEPARATE				
35 <input checked="" type="checkbox"/> TRIP SPEED, RPM: 4130 BLADE TIP VELOCITY, FPS 389					INTERSTAGE SEALS <input type="radio"/> LABYRINTH <input type="radio"/> CARBON				
36 <input checked="" type="checkbox"/> FIRST CRITICAL SPEED, RPM (4.8.2.1) 8068					END SEALS <input checked="" type="radio"/> CARBON RING, NUMBER / BOX 3				
37 <input checked="" type="checkbox"/> EXHAUST TEMPERATURE, °F: 561 NORM 668 NO LOAD					<input checked="" type="radio"/> LABYRINTH <input checked="" type="radio"/> MATERIAL bronze				
38 <input checked="" type="checkbox"/> POTENTIAL MAXIMUM POWER, BHP (3.1.20) 1695					<input type="radio"/> MECHANICAL <input type="radio"/> MANUFACTURER				
39 <input checked="" type="checkbox"/> MAXIMUM NOZZLE STEAM FLOW, LBS/HOUR 80340					TYPE RADIAL BEARINGS (4.9.1) Sleeve journal				
40 <input checked="" type="checkbox"/> ROTATION FACING GOVERNOR END <input checked="" type="checkbox"/> CCW <input type="checkbox"/> CW					TYPE THRUST BEARINGS (4.9.2) Tilt-pad, Kingsbury				
41 <input checked="" type="radio"/> DRIVEN EQUIPMENT THRUST, LBS (4.9.11)					<input checked="" type="checkbox"/> CALCULATED THRUST LOAD (4.9.15) 250 PSI				
42 VERTICAL TURBINE (4.9.3)					<input checked="" type="checkbox"/> BEARING MANUFACTURER'S ULTIMATE RATING 2800 PSI				
43 <input type="radio"/> WATER PIPING FURNISHED BY _____ <input type="radio"/> VENDOR <input type="radio"/> OTHERS					THRUST COLLAR (4.9.10.2) <input checked="" type="checkbox"/> REPLACEABLE <input type="checkbox"/> INTEGRAL <input type="checkbox"/> NONE				
44 <input type="radio"/> OIL PIPING FURNISHED BY _____ <input checked="" type="radio"/> VENDOR <input type="radio"/> OTHERS					<input checked="" type="checkbox"/> LUBE OIL ISO VISCOSITY GRADE (4.10.3) 32				
<b>APPLICABLE SPECIFICATIONS</b>					LUBRICATION <input type="radio"/> RING OILED <input checked="" type="radio"/> PRESSURE <input type="radio"/> GREASE				
46 <input checked="" type="radio"/> API STANDARD 611, GENERAL PURPOSE STEAM TURBINES					<input type="radio"/> BEARING HOUSING OILER TYPE: _____				
47 <input checked="" type="radio"/> OTHER A30K00-0-SP-4-TD-01 Gen Purpose ST Drivers					<input type="radio"/> OIL MIST (4.9.18)				
48 A30K00-0-SP-4-PP-01 Boiler Feedwater Pumps					<input type="radio"/> PURGE OIL MIST <input type="radio"/> PURE OIL MIST				
49 REMARKS: The steam turbine driver will be primary					<b>CASING DESIGN</b>				
50 and the motor driver will be secondary.							<b>INLET</b>		<b>EXHAUST</b>
51					MAX ALLOWABLE PRESSURE, PSIG		1060**		300
52					MAX ALLOWABLE TEMPERATURE, °F		880**		680**
					HYDROSTATIC TEST PRESSURE, PSIG		2950		560

<h1 style="margin: 0;">FLUOR</h1>		JOB NUMBER: _____ ITEM NUMBER: 1FW-P-0200/0300-TD				
		PURCHASE ORDER NUMBER: _____				
		SPECIFICATION NUMBER: _____				
<b>GENERAL PURPOSE STEAM TURBINE DATA SHEET (API 611 - 4TH EDITION) U. S. CUSTOMARY UNITS PAGE 2 OF 3</b>		REV.	DATE	BY	APPROVED	ISSUE FOR
		A	11/19/87	FJM	AM	BFW PUMP RFQ
		B	7/27/89	KAS	0	AS BUILT
<b>MATERIALS</b>		<b>ACCESSORY EQUIPMENT BY VENDOR</b>				
2	HIGH PRESSURE CASING Alloy Steel GRADE A217 WC-6	<input checked="" type="checkbox"/> REMOTE TRIP <input checked="" type="checkbox"/> SOLENOID Dual 24 VDC solenoid valves on turbine trip <input type="checkbox"/> VACUUM BREAKER (5.4.2.9) Dual limit switches on trip valve <input type="checkbox"/> AUTOMATIC STEAM SEALING SYSTEM (4.7.5) <input type="checkbox"/> GLAND VACUUM DEVICE <input type="checkbox"/> WATER EJECTOR <input type="checkbox"/> STEAM EJECTOR <input type="checkbox"/> SENTINEL WARNING VALVE (5.4.5.2) <input checked="" type="checkbox"/> INSULATION, TYPE: Removeable, reusable form fitted jacket type <input checked="" type="checkbox"/> TACHOMETER TYPE (5.4.4.1): Digital <input checked="" type="checkbox"/> MANUFACTURER: Dynalco MODEL: SPD-100 <input checked="" type="checkbox"/> MOUNTED BY: Turbine Vendor - Local on Turbine <input type="checkbox"/> THERMAL RELIEF VALVES (5.4.4.7.3) <input type="checkbox"/> SHUTOFF VALVES FOR SHUTDOWN SENSORS <input type="checkbox"/> LOCAL GAUGE BOARD WITH FOLLOWING PRESSURE GAUGES (5.4.3.1) <input checked="" type="checkbox"/> THROTTLE STEAM <input type="checkbox"/> FIRST STAGE Turbine Mounted *** <input type="checkbox"/> NOZZLE RING <input checked="" type="checkbox"/> EXHAUST Turbine Mounted *** <input type="checkbox"/> LIQUID FILLED GAUGES (5.4.4.4) <input type="checkbox"/> INSTRUMENT PANEL (5.4.3.2.1) <input type="checkbox"/> BASEMOUNTED <input type="checkbox"/> FREE STANDING				
3	EXHAUST CASING Alloy Steel GRADE A217 WC-6					
4	NOZZLES SS GRADE 403					
5	BLADING SS GRADE 418					
6	WHEELS Forged Steel GRADE 4340					
7	SHAFT Steel GRADE 4140HT					
8	SHAFT COATING UNDER PACKING (4.6.2.3)					
9	MATERIAL: CHROME					
10	APPLICATION METHOD: PLATED					
11	THICKNESS: 0.0035-0.0065 INCH					
12	GOVERNOR VALVE TRIM SS					
13	INLET STRAINER SS MESH SIZE 0.062					
14	COUPLING SPACER COUPLING HUB					
15	COUPLING DIAPHRAGM / DISK					
<b>STEAM CONTROL</b>						
17	SPEED CHANGER					
18	<input type="checkbox"/> MANUAL <input checked="" type="checkbox"/> PNEUMATIC <input type="checkbox"/> ELECTRIC (5.4.2.3)					
19	MANUFACTURER: ***See below MODEL					
20	CONTROLLED VARIABLE     OPERATING RANGE     CONTROL SIGNAL					
22	SPEED TO _____ RPM TO _____ PSIG / mA					
23	TO _____ RPM TO _____ PSIG / mA					
<b>CONNECTIONS (4.4.1)</b>						
24	ITEM     SIZE     RATING     FACING     POSITION     MATING PARTS FURNISHED					
25						
27	INLET 4" 900 RF RH NO					
28	EXHAUST 10" 300 RF LH NO					
29	DRAINS 3/4" 1500** RF VARIOUS NO					
29	** as viewed from the governor end, opposite the output shaft					
30	COUPLINGS (5.2) <input type="checkbox"/> SEE SEPARATE DATA SHEET					
31	MANUFACTURER: THOMAS					
32	MODEL: SERIES 71					
33	RATING (HP / 100 RPM)					
34	LUBRICATION: NON - LUBRICATED					
35	<input type="checkbox"/> LIMITED END FLOAT					
36	SPACER LENGTH: MINIMUM OF 5.0 INCH					
37	SERVICE FACTOR: MINIMUM OF 1.5					
38	VENDOR MOUNT HALF COUPLING Goulds mounting hub					
39	DYNAMIC BALANCE REQUIRED (5.2.8)					
40	BALANCE CLASS <input type="checkbox"/> AGMA CLASS 8 <input type="checkbox"/> AGMA CLASS 9					
41	TURBINE SHAFT <input checked="" type="checkbox"/> CYLINDRICAL <input type="checkbox"/> TAPERED					
<b>MOUNTING PLATES</b>						
43	TYPE (5.3.1.1) <input checked="" type="checkbox"/> BASEPLATE <input type="checkbox"/> SOLEPLATE					
44	FURNISHED BY: <input type="checkbox"/> TURBINE VENDOR <input type="checkbox"/> OTHER					
45	<input checked="" type="checkbox"/> DRIVEN EQUIPMENT VENDOR					
46	EQUIPMENT TO BE MOUNTED (5.3.2.1):					
47	<input checked="" type="checkbox"/> TURBINE <input type="checkbox"/> GENERATOR <input type="checkbox"/> GEAR					
48	<input type="checkbox"/> PUMP <input type="checkbox"/> OTHER					
49	<input type="checkbox"/> UNGROUTED BASEPLATE (5.3.2.4)					
50	<input type="checkbox"/> SUITABLE FOR COLUMN MOUNTING					
51	<input type="checkbox"/> TURBINE VENDOR FURNISHES SUBPLATES					
52	REMARKS: ** Exhaust casing drain is 0.75" 300 LB RF					
53						
54						
		<b>EXTERNAL LUBE OIL SYSTEM</b>				
		<input type="checkbox"/> CIRCULATING (4.10.5) <input checked="" type="checkbox"/> PRESSURE (4.10.6) <input type="checkbox"/> VENDOR FURNISHED SYSTEM FOR: <input type="checkbox"/> TURBINE <input checked="" type="checkbox"/> OTHER: Lube Oil System by Pump Mfr. <input type="checkbox"/> OIL SYSTEM SHALL BE: <input type="checkbox"/> CONSOLE TYPE <input type="checkbox"/> MOUNTED ON THE BASEPLATE <input type="checkbox"/> OIL SYSTEM SHALL INCLUDE FOLLOWING EQUIPMENT (4.10.5, 4.10.7) <input type="checkbox"/> STANDBY OIL PUMP <input type="checkbox"/> DRIVER TYPE: <input type="checkbox"/> LOW OIL PRESSURE ALARM SWITCH <input type="checkbox"/> LOW LOW OIL PRESSURE TRIP SWITCH <input type="checkbox"/> HEATER (4.10.8) <input type="checkbox"/> ELECTRIC <input type="checkbox"/> STEAM <input checked="" type="checkbox"/> OIL DRAIN SIGHT FLOW INDICATORS (D-R supplies on turbine) <input type="checkbox"/> HAND OPERATED STANDBY PUMP <b>REMARKS:</b> Pressure lube oil system for turbine and driven equipment provided by ITT Goulds.				
		<b>VIBRATION AND POSITION DETECTORS (5.4.6)</b>				
		<input type="checkbox"/> FURNISH PROVISIONS FOR MOUNTING NON-CONTACTING VIBRATION PROBES (4.9.32) <input checked="" type="checkbox"/> FURNISH AXIAL POSITION PROBES <input checked="" type="checkbox"/> NUMBER PROBES 2 <input checked="" type="checkbox"/> MANUFACTURER: Bentley Nevada MODEL: 3300XL <input checked="" type="checkbox"/> FURNISH RADIAL PROBES <input checked="" type="checkbox"/> PROBES PER BEARING 2 <input checked="" type="checkbox"/> MANUFACTURER: Bentley Nevada MODEL: 3300XL <input checked="" type="checkbox"/> FURNISH BEARING METAL TEMPERATURE SENSORS FOR: <input checked="" type="checkbox"/> RADIAL BEARINGS <input checked="" type="checkbox"/> THRUST BEARINGS <input type="checkbox"/> TURBINE VENDOR TO SUPPLY AND CALIBRATE MONITORS FOR: <input type="checkbox"/> AXIAL AND RADIAL PROBES (By Pump Mfr.) <input type="checkbox"/> BEARING TEMPERATURE SENSORS <input type="checkbox"/> SEE SEPARATE DATA SHEETS FOR DETAILS <b>REMARKS:</b> *Turbine supplied with 30 tooth signal gear(s) & dual AI-TEK magnetic pickups, and throttle valve pneumatic actuator with I/P transducer for use with clients DCS speed turbine speed control system. Turbine supplied with Qty 3 3300 XL probes for use with B/N 3500-83 OSP system in turbine/pump control panel. No shaft mounted trip bolt on turbine.				



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.