



**UNIVERSIDAD DE SOTAVENTO A.C.
ESTUDIOS INCORPORADOS A LA UNIVERSIDAD
NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“MANUAL PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS TURBINAS DE VAPOR
ELLYOT DYRG UBICADAS EN EL COMPLEJO PETROQUÍMICO
MORELOS, VER.”**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO INDUSTRIAL**

**PRESENTA:
JOSÉ MANUEL PORTILLA SANTANA**

**ASESOR DE TESIS:
ING. RAÚL ORTEGA DANTES**

COATZACOALCOS, VER.

JULIO 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

TÍTULO

“MANUAL PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS TURBINAS DE VAPOR ELLYOT
DYRG UBICADAS EN EL COMPLEJO PETROQUÍMICO MORELOS, VER.

HIPÓTESIS

¿LA ELABORACION DEL MANUAL DE MANTENIMIENTO DE LAS TURBINAS DE VAPOR MEJORARÁ LA EFICIENCIA DEL EQUIPO?

JUSTIFICACIÓN

En muchas empresas se consume gran cantidad de recursos, especialmente económicos, en la reparación de máquinas. Y hablando de los complejos petroquímicos a nivel mundial es una de sus principales fugas de capital económico y humano. Pero también es uno de los campos en el cual una adecuada planeación nos ayuda a disminuir costos y a mejorar la eficiencia y la calidad. Esto implica la búsqueda de alternativas para mejorar la eficacia, durabilidad y confiabilidad de las máquinas.

En el complejo petroquímico Morelos solo se tiene acceso a los manuales de procedimientos mediante los mandos altos (Ing. de turno) y mandos medios (jefe de taller) y al no estar ellos para tomar decisiones el trabajo se detiene. Es por eso que esta investigación tiene la intención de ser de ayuda en contar con un manual general, en donde se explique el funcionamiento de la turbina de vapor, sus fallas más comunes y también sus tipos de mantenimiento en general.

OBJETIVO GENERAL

Mejorar en el conocimiento teórico y práctico del mantenimiento de cada una de las partes que integran una turbina de vapor, ayudando a mejorar la eficiencia del equipo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el procedimiento de mantenimiento actual.
- Tener una base teórica para hacer un mantenimiento adecuado que requieren las turbinas de vapor.
- Evaluar las fallas más comunes en las turbinas de vapor ELLYOT DYRPG en el complejo petroquímico Morelos.
- Evaluar el costo-beneficio de la implementación del nuevo manual.

ÍNDICE

| | |
|---|-----|
| INTRODUCCION | 1 |
| CAPÍTULO I GENERALIDADES | 2 |
| 1.1.- DESCRIPCIÓN HISTORICA | 3 |
| 1.2.- CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS TURBINAS | 6 |
| 1.3.- COMPONENTES DE UNA TURBINA DE VAPOR..... | 16 |
| CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO | 41 |
| 2.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 42 |
| 2.2.- FALLAS MÁS COMUNES EN TURBINA DE VAPOR..... | 46 |
| CAPÍTULO III PROPUESTA DE MANTENIMIENTO | 51 |
| 3.1.- MANTENIMIENTOS A UNA TURBINA DE VAPOR | 52 |
| 3.2.- PROCEDIMIENTOS DE LOS DISTINTOS TIPOS DE MANTENIMIENTO..... | 52 |
| CAPÍTULO IV ANALISIS FINANCIERO DEL MANTENIMIENTO | 85 |
| 4.1.- BENEFICIOS ESPERADOS..... | 86 |
| 4.2.- COSTOS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MANTENIMIENTO | 88 |
| 4.3.- CONSECUENCIAS DE NO INVERTIR EN LOS MANTENIMIENTOS..... | 102 |
| CONCLUSIÓN | 103 |
| BIBLIOGRAFIA | 104 |
| GLOSARIO | 105 |
| ANEXOS | 108 |

INTRODUCCIÓN

El enfoque actual del mantenimiento en las empresas debería ser la maximización del tiempo entre reparaciones y eliminación de las reparaciones no programadas, y con ello, minimizar el inventario de repuestos. Sin embargo, en el complejo petroquímico Morelos a veces el mantenimiento se detiene por falta de habilidades teóricas ó prácticas del personal, ó simplemente no se hace por falta de información. Un manual de mantenimiento puede llegar a ser de mucha ayuda en casos en donde falte la información teórica ó simplemente se tengan dudas respecto a los pasos a seguir en la difícil tarea del mantenimiento. Un adecuado proceso de inspección acompañado de mantenimiento integral permitirá analizar los desperfectos y encontrar una solución para que no se vuelva a repetir la falla, y para ello es indispensable corregir aspectos que a simple vista no se pueden detectar. Posteriormente, un adecuado monitoreo de las condiciones de operación permitirá ir evaluando cuando dicha máquina necesitará un nuevo mantenimiento. Cabe mencionar que dicho monitoreo puede ser llevado a cabo con diversos métodos, uno de ellos puede ser una inspección rutinaria que implique observar, escuchar, sentir e inclusive oler, cuando una máquina se encuentra operando y mediante un adecuado registro de las condiciones detectadas, poder descubrir variantes que nos indiquen que algo está empezando a deteriorarse. Por otro lado encontramos métodos mucho más elaborados como la termografía, los análisis de aceites, el análisis de vibraciones mecánicas, ultrasonidos, etc. Estos métodos pueden servir como un complemento a la inspección rutinaria antes mencionada y de esa manera llevar un mejor control de las máquinas. En este trabajo, se propuso elaborar un manual para el correcto mantenimiento de una turbina de vapor, como paso inicial del mantenimiento integral, y luego realizar una inspección y trabajos adecuados para tener como resultado una máquina que asemeje las condiciones de una máquina recién fabricada. Como podrá observarse en el contenido, encontramos beneficios económicos y de operación bastante positivos, por lo que al final se recomienda que este proceso de mantenimiento debe ser realizado en todo el conjunto de turbinas para mejorar la condición de operación en general de la planta y ayudar a disminuir los costos operativos que ayudarían a alcanzar mejores niveles de productividad y eficacia.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1.- DESCRIPCIÓN HISTÓRICA:

PEMEX petroquímica es el organismo encargado de la elaboración, almacenamiento, distribución y comercialización de materias primas para las industrias química y petroquímica del país. Sus productos se generan a partir de procesos industriales petroquímicos no básicos, derivados de la primera transformación del gas natural, metano, propano y naftas.

El proceso productivo consiste en transformar el crudo y el gas natural en una extensa gama de subproductos de diversas características físicas y químicas. De manera específica en PEMEX petroquímica existen 4 grandes cadenas productivas:

Metano y sus derivados.

Etano y sus derivados.

Aromáticos.

Propileno y derivados.

En esta investigación nos enfocaremos solamente al complejo petroquímico Morelos.

El Complejo Petroquímico Morelos se encuentra ubicado en Ejido Pajaritos S/N, S/C, C.P.96400 Allende, Coatzacoalcos, Veracruz, como se muestra en la imagen 1.

El Complejo Petroquímico Morelos empezó a construirse en 1982 e inició operaciones en el año de 1988; se constituyó como empresa filial de Pemex Petroquímica Organismo de Petróleos Mexicanos en 1997.



Imagen 1. Localización del complejo petroquímico Morelos.

El complejo opera con 7 plantas de proceso y 5 de servicio las cuales se muestran en la tabla 1:

| PROCESO | SERVICIO |
|----------------------|---------------------------------|
| Etileno | Quemadores |
| Acrilonitrilo | Servicios Auxiliares |
| Oxigeno | Tratamiento de efluentes |
| Asahi | Tratamiento de aguas |
| Swing | Movimiento de producto |
| Oxido | |
| Mitsui | |

Tabla 1. Clasificación de las 12 plantas del complejo Morelos.

Las áreas que cuentan con turbinas de vapor en sus instalaciones son: Servicios auxiliares, Oxigeno, Tratamiento de aguas y Oxido.

Las turbinas juegan un papel importante en estas plantas ya que son las encargadas de hacer funcionar los turboventiladores y los turbogeneradores y algunas turbo bombas de todo el complejo cuando la energía eléctrica que llega por parte de Comisión Federal de Electricidad al complejo falla. Por eso es importante que las turbinas estén siempre en buen estado, y que su mantenimiento sea lo más eficiente posible.

1.2.- CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS TURBINAS:

Una turbina de vapor es un dispositivo que extrae la energía térmica del vapor a presión y lo utiliza para hacer trabajo mecánico sobre un eje giratorio de salida. Debido a que la turbina genera un movimiento giratorio, que es particularmente adecuado para ser utilizado para accionar un generador eléctrico aproximadamente el 90% de toda la generación de electricidad en los Estados Unidos es mediante el uso de turbinas de vapor. La turbina de vapor es una forma de motor de calor que se deriva gran parte de su mejora en la eficiencia termodinámica a través de la utilización de múltiples etapas en la expansión del vapor, lo que resulta en un enfoque más cerca del proceso reversible más eficiente.

Las turbinas son equipos de suma importancia en distintos procesos de producción y generación de energía, gracias a ellas podemos aprovechar la energía cinética que nos brinda cada uno de los fluidos con las cuales cada turbina opera. Como se sabe, tenemos las turbinas de gas, turbinas de hidráulicas, turbinas neumáticas, turbinas de vapor, y cada una de ellas es de suma importancia para el aprovechamiento y desarrollo de la humanidad. En la tabla 2 se puede observar su distinta clasificación de cada una de ellas.

Una turbina tiene como principal función aprovechar la energía cinética del fluido con la cual esta opere y convertirla en energía mecánica dando como resultado un trabajo. La forma en que se produce este trabajo es cuando el fluido de trabajo se expande en una tobera, durante lo cual se genera energía cinética; a continuación el chorro de alta velocidad pasa por las paletas ó alabes que se encuentran ubicadas en la periferia del rodete, estos alabes están diseñados para cambiar la cantidad de movimiento de la corriente del fluido.

Dicho cambio produce una fuerza impulsora la cual es dirigida al elemento dinámico de la turbina “el rotor”, siendo este el principal elemento en una turbina ya que por medio de él se da origen a la energía mecánica, la cual se puede aprovechar para el movimiento de otro equipo ó la generación de energía eléctrica.

| Turbinas | | |
|-------------|--------------------------------------|--|
| VAPOR | POR SU OPERACIÓN | DE CONDENSACION DE EXTRACCION DE CONTRAPRESION REGENERATIVAS |
| | POR SU DISEÑO DE ALABES | DE ACCION DE REACCION |
| | POR EL TIPO DE VAPOR | ALTA POTENCIA BAJA POTENCIA |
| GAS | POR SU CICLO TERMODINAMICO DE | CICLO ABIERTO CICLO CERRADO |
| | POR SU NUMERO DE EJES | UNIEJE MULTIEJES |
| | POR SU DISEÑO DE ALABES | DE ACCION DE REACCION |
| | POR SU APLICACIÓN | PROPULSION AEREA, MARITIMA Y FERROVIARIAS GENERACION ELECTRICA BOMBEO DE GASEODUCTOS COGENERACION |
| HIDRAULICAS | SEGÚN LA DIRECCION QUE ENTRA EL AGUA | AXIALES RADIALES |
| | SEGÚN LA DIRECCION DEL EJE | HORIZONTAL VERTICAL |
| | DE ACUERDO AL MODO DE OBRAR DEL AGUA | DE CHORRO DE REACCION |
| NEUMATICAS | POR SU DISEÑO DE EJE | EJE HORIZONTAL EJE VERTICAL |
| | POR SU NUMERO DE PALAS EN EL ROTOR | TRIPALAS BIPALAS MONOPALAS |

Tabla 2. Clasificación de las turbinas

Como podemos observar en la tabla 2, las turbinas se clasifican:

1.2.1.- TURBINAS DE VAPOR:

1.2.1.1.- De acuerdo a su operación:

a) **Turbina de condensación.**- Esta turbina aprovecha toda la energía del vapor y están provistas de un condensador de superficie; en el cual el vapor húmedo procedente del escape de la turbina cae por el vacío que se genera a través del sistema de inyectores del cual está provisto este tipo de turbinas. En el condensador, el vapor húmedo, vuelve a su fase líquida totalmente y de aquí es extraído por bombas de condensado y enviado nuevamente para su ciclo de vapor. En la imagen 2 se muestran las partes involucradas en el proceso mencionado.

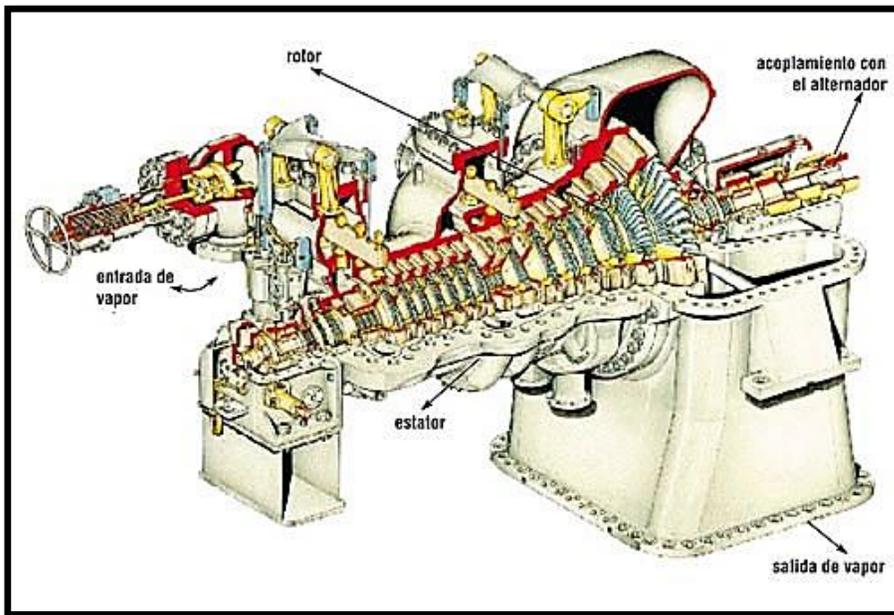


Imagen 2. Turbina de condensación

b) Turbina de extracción.- En la imagen 3 se muestra una turbina de extracción. Estas turbinas también son de condensación solo que en cierta parte de las etapas tiene una extracción de vapor ó sangrado. Este vapor es utilizado para algunos servicios del proceso de la planta ó para mover alguna turbina de menor potencia.

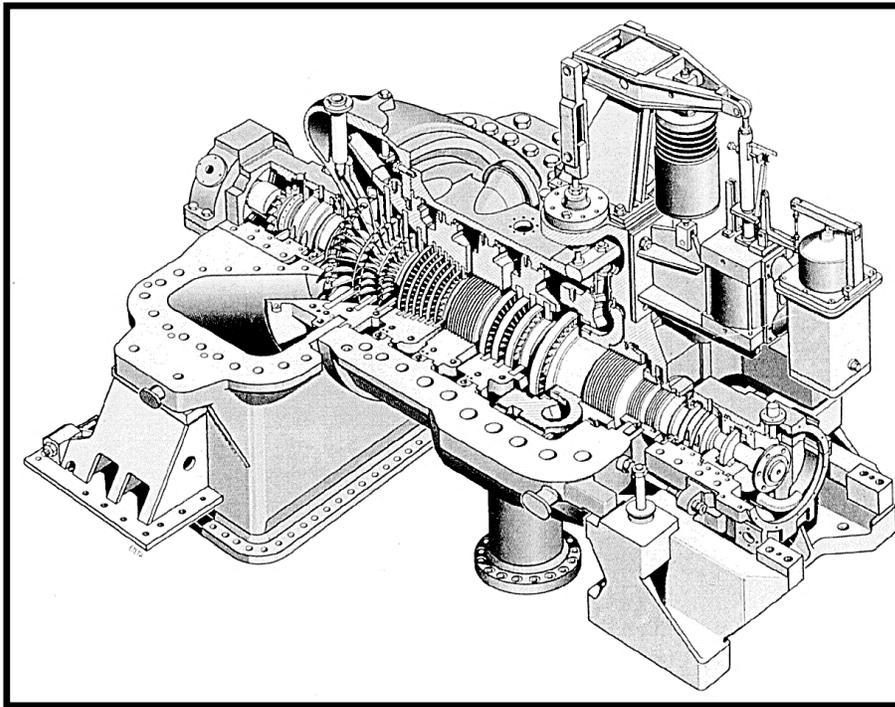


Imagen 3. Turbina de extracción

c) Turbina de contrapresión.- Se les llama así a aquellas turbinas que no son de condensación en la cual el vapor en el escape suele salir a una presión mayor que la atmosférica como se muestra en la imagen 4. Generalmente las turbinas pequeñas caen en este tipo.

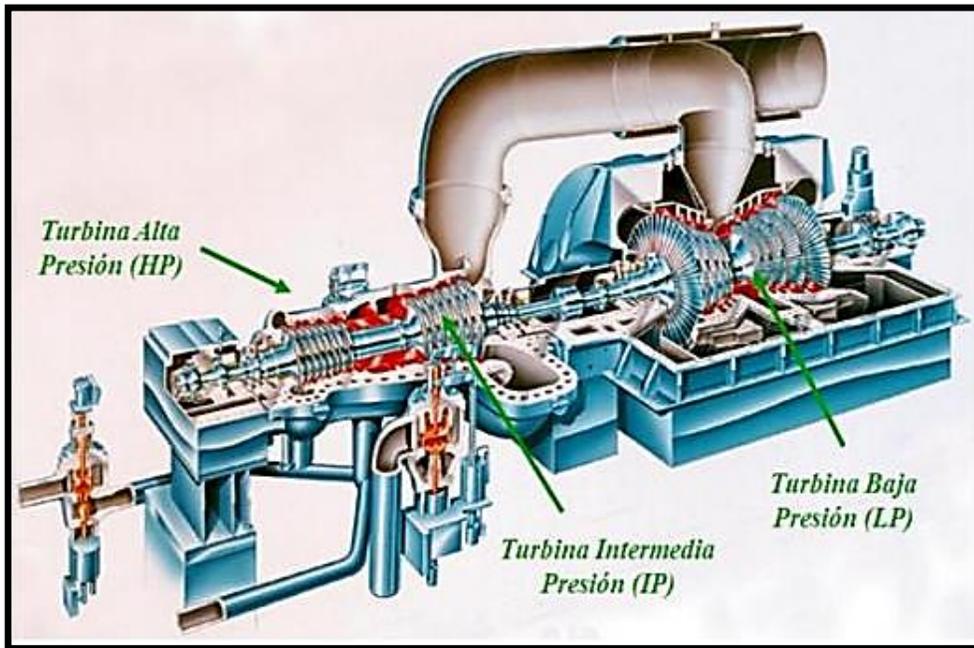


Imagen 4. Turbina de contrapresión

d) Turbinas regenerativas.- Las turbinas regenerativas tienen la particularidad de tener una extracción de vapor de las últimas etapas y ser introducido en un recalentador, proporcionándole sus características nuevamente en un vapor seco y lo vuelve a introducir a la turbina aprovechando de esta manera el mayor rendimiento del vapor y así también tener más eficiencia de la turbina.

1.2.1.2.- Por el diseño de sus alabes:

Dentro de los grupos de baja y alta carga de la turbina, por medio del diseño del alabe que está montado sobre la rueda podemos determinar si la turbina es considerada de acción (impulso) ó de reacción.

a) Turbina de acción ó impulso.

Es cuando la turbina aprovecha la energía cinética del vapor, normalmente son de una sola rueda donde el vapor incide sobre el alabe directamente por la tobera de entrada.

También se tienen rodetes con dos ruedas cada una con sus alabes, ó dos hileras de alevos montadas en una sola rueda tipo y estos llevan un peine de alabes directrices en medio de los dos discos con la finalidad de volver a darle sentido al vapor y golpear de manera eficiente la segunda hilera de alabes.

b) Turbina de reacción.

Es cuando aprovecha la energía estática del vapor y también pueden aprovechar la energía dinámica del vapor (Francis y Kaplan), generalmente los rodetes son de varios pasos ó ruedas y van de menor a mayor diámetro, esto es con el objetivo de que el vapor a medida de que va pasando por las paletas ó alabes va perdiendo presión y temperatura y gracias a este diseño que tiene como fin que los alabes finales sean más grandes ayuden para que la presión de salida del vapor tenga una mayor área de encuentro con el alabe y así aprovechar al máximo esta presión que es menor a la de entrada, ayudando también el diseño del ángulo del alabe que origina un aprovechamiento de la velocidad.

Las turbinas son máquinas de flujo permanente, en las cuales el vapor entra a las toberas y se expansiona hasta una presión pequeña, al hacerlo el chorro de vapor adquiere una gran velocidad. Parte de la energía de este chorro es cedida a los alabes de la turbina, de la misma manera que un chorro de agua cede energía a las paletas de una rueda hidráulica, las turbinas que utilizan el impulso del chorro de vapor para mover los alabes se denominan turbinas de acción, en ellas las toberas son fijas y van montadas sobre el bastidor.

Pero también es posible construir una turbina de manera que los espacios comprendidos entre los alabes tengan la forma de las toberas. En este caso la reacción ejercida sobre estas toberas por el vapor saliente hace girar el rotor.

1.2.1.3.- Por el tipo de vapor empleado:

Las turbinas de vapor están contempladas dentro de 2 grupos:

a) Las turbinas de baja potencia: Emplean vapor de 19kg/cm^2 de presión y 250°C de temperatura.

b) Las turbinas de alta potencia: Emplean vapor de 45kg/cm^2 de presión y 450°C de temperatura.

Las turbinas de baja carga por lo general son de un solo paso, mientras que las turbinas de alta carga son las multipaso

1.2.2.- TURBINAS DE GAS:

Como la compresibilidad de los gases no puede ser despreciada, las turbinas de gas son turbomáquinas térmicas. Comúnmente se habla de las turbinas de gas por separado de las turbinas ya que, aunque funcionan con sustancias en estado gaseoso, sus características de diseño son diferentes, y, cuando en estos términos se habla de gases, no se espera un posible cambio de fase, en cambio cuando se habla de vapores sí. La operación básica de la turbina de gas es similar a la máquina de vapor, excepto que en lugar de agua se usa el aire. El aire fresco de la atmósfera fluye a través de un compresor que lo eleva a una alta presión. Luego se añade energía dispersando combustible en el mismo y quemándolo de modo que la combustión genera un flujo de alta temperatura. Este gas de alta temperatura y presión entra a una turbina, donde se expande disminuyendo la presión de salida, produciendo el movimiento del eje durante el proceso. El trabajo de este eje de la turbina es mover el compresor y otros dispositivos como generadores eléctricos que pueden estar acoplados. Y su clasificación la detallaremos a continuación:

1.2.2.1.- Según ciclo termodinámico de funcionamiento:

a) Ciclo abierto: El fluido que se comprime es aire tomado del ambiente. Los gases de escape son vertidos a la atmosfera.

b) Ciclo cerrado: El fluido de trabajo opera en un ciclo cerrado, existen dos circuitos secundarios, uno que hará de foco caliente y otro que hará de foco frio.

c) Ciclo regenerativo: Se aprovechan los gases turbinados para precalentar el aire antes de ponerlo en contacto con el foco caliente.

1.2.2.2.- Según aplicación: propulsión aérea, marítima y ferroviaria. Generación eléctrica, cogeneración, bombeo de gaseoductos.

1.2.2.3.- Según el número de ejes:

a) Mono ejes.- Las que cuentan con un solo eje. En este tipo de turbinas el compresor, turbina y generador, están todo unidos en el mismo rotor girando de forma solidaria, son las más comunes para uso de generación eléctrica. Su velocidad de giro suele estar en 3000 rpm para ajustarse a los 50 Hz de la red eléctrica.

b) Multi ejes.- Este tipo de turbinas está dividido el eje en dos, un eje en el que está el compresor y la turbina de alta, que es la encargada de impulsar al compresor. En el otro eje se encuentran la turbina de potencia que es la que mueve el generador. Este tipo de configuración se usa en turbinas aeroderivadas y de pequeña potencia ya que tiene buen comportamiento frente a variaciones de carga.

1.2.3.- TURBINAS HIDRÁULICAS:

Esta turbina aprovecha la energía de un fluido que pasa a través de ella para producir un movimiento de rotación que, transferido mediante un eje, mueve directamente una máquina o bien un generador que transforma la energía mecánica en eléctrica, estas turbinas son el órgano fundamental de una central hidroeléctrica. Y se clasifican como a continuación describimos:

1.2.3.1.- Según la dirección en que entra el agua:

- a) Turbinas axiales:** El agua entra en el rodete en la dirección del eje.
- b) Turbinas radiales:** El agua entra en sentido radial, no obstante el agua puede salir en cualquier dirección.

1.2.3.2.-Según la dirección del eje: Horizontales y Verticales.

1.2.3.3.- De acuerdo al modo de obrar del agua:

- a) Turbinas de chorro ó de acción simple ó directa.-** La turbina de acción gira cuando un chorro de agua proveniente de una tobera (boquilla) golpea a uno de sus alabes a velocidad muy alta. Una gran proporción de la energía del agua está en forma de energía cinética debido a su velocidad. El chorro no posee ninguna energía de presión, dado que el agua no puede confinarse después de salir de la tobera.
- b) Turbinas de reacción.-** La turbina de reacción actúa porque el agua que se mueve a una velocidad relativamente baja, pero bajo presión. El agua llega al cuerpo de la turbina (rodete) a través de un sistema denominado de distribución que es totalmente cerrado, tal que la presión debida a la cabeza de la planta se mantiene sobre el rodete.

1.2.4.- TURBINAS NEUMÁTICAS:

Las turbinas neumáticas se utilizan para realizar trabajos de acabado, rectificado, limpieza, pulido y remoción de material pesado. Y se clasifican:

1.2.4.1.- Por su número de palas en el rotor:

a) Mono palas.- Que cuentan con una sola pala en su rotor.

b) Bipalas.- Que cuentan con 2 palas en su rotor.

c) Tripalas.- Que cuentan con 3 palas en su rotor

Como pudimos observar en esta clasificación, los diferentes tipos de turbinas comparten muchas características similares entre sí, pero también tienen grandes diferencias tanto en su estructura como en los diferentes tipos de alimentación que ocupan, así como también para sus distintos tipos de usos dentro de la industria. Y estas diferencias son lo que hace necesaria una clasificación de cada una de las distintas turbinas de vapor.

Una vez mencionados los diferentes tipos de turbinas y su clasificación, nos adentraremos más en las turbinas de vapor, ya que estas serán nuestro objeto de estudio en esta investigación. En el tema siguiente mencionaremos los componentes principales de una turbina de vapor así como una descripción e imágenes de cada una de ellas.

1.3.- COMPONENTES DE UNA TURBINA DE VAPOR:

Las turbinas de vapor están constituidas básicamente en partes fijas y partes móviles. Cada una de las partes es muy importante, también nos debemos de enfocar en que cada una de las partes de la turbina funcionen adecuadamente, ya que un mal funcionamiento de una de las partes podría desencadenar en un mayor problema y en el peor de los casos puede llegar hasta descomponer totalmente la turbina. Dependiendo del tamaño ó tipo de turbina pueden contar con más ó menos componentes adicionales, sin embargo los componentes principales que se repiten en las turbinas son las siguientes:

a) Rotor:

Es la pieza motriz con la que giran los demás elementos motrices. Los rotores de intermedia, baja y alta presión deben de ser fabricados cada uno de una sola pieza forjada y tratada térmicamente, esto para soportar las presiones y temperaturas establecidas por el sistema.

El rotor de la turbina transmite, con sus alabes móviles, la energía en forma de movimiento de rotación a la maquina accionada, en algunos rotores, los rodets de alabes son montados en la flecha en caliente, los cuales al enfriarse quedan fijos a la flecha. En otros casos la flecha y los rodets son forjados de una sola pieza. Llamamos cuerpo del rotor al conjunto de flecha, disco ó tambor que son portadores de los alabes móviles de la turbina. Pueden incluirse también como parte del rotor, los diversos collarines de los laberintos, las transmisiones del regulador y el acoplamiento, por su forma los rotores tienen 2 clasificaciones:

- 1.- Rotores de alta presión.
- 2.- Rotores de baja presión.

1. El rotor de alta presión: Estos rotores tienen en su periferia los alabes sujetos generalmente por pernos, algunas veces pueden forjarse de una sola pieza flecha y disco para lograr una construcción más robusta, cuando los discos son de un diámetro no muy grande, inferiores a un metro, conviene emplear aleaciones especiales en los primeros escalonamientos, ya que los costos del rotor aumentarían si estos materiales se usaran también en los escalonamientos de baja presión, donde no se hacen necesarios. En la imagen 5 se muestra un rotor de alta, nótese los distintos tamaños de los discos y de los alabes.



Imagen 5. Rotor de una turbina de vapor de alta carga.

2. El rotor de baja presión: este rotor tiene en su periferia un solo disco en donde van los alabes. Estos rotores se forjan de una flecha y el disco que va normalmente a la mitad de esta. Los discos varían de tamaño de acuerdo al tamaño de la turbina. En la imagen 6 observamos el rotor de una turbina pequeña, pero hay rotores que alcanzan los 7 metros de largo, aunque por lo regular son de turbinas de alta presión.



Imagen 6. Rotor de una turbina de vapor de baja potencia.

b) Estator ó carcasa:

Su función estructural es para soportar al conjunto ó elementos que componen a una turbina y para contener el vapor dentro de la turbina, también para dirigir el vapor hacia las toberas y al escape. Normalmente es bipartida y en turbinas multi etapas viene unida por tornillos la zona de alta y baja presión. Su forma de caracol tiene como objetivo guiar el fluido al centro del rodete ó impulsor y guiar el fluido a la descarga. Estas son construidas de diferentes materiales dependiendo de las presiones que se manejan en la misma. En la imagen 7 tenemos a una carcasa de una turbina de vapor de alta.



Imagen 7. Carcasa de turbina de vapor.

c) Álabes:

Se ubican en la periferia ó circunferencia del rodete ó también llamado impulsor, dependiendo del tipo de alabe se considera si es de acción ó de reacción. Tiene como objetivo impulsar, aprovechando la energía cinética del vapor y convirtiéndola en energía mecánica, dependiendo de su forma puede convertir energía cinética de los chorros de vapor en presión del vapor entre la entrada y la salida del rodete (paso de impulso ó acción), ó pueden también acelerar el chorro de vapor en energía de movimiento, cambiando significativamente la presión del vapor entre la entrada y salida del rodete (paso de reacción). Las formas de los álabes y los sistemas de fijación al rotor son muy variados, los alabes de los escalonamientos de alta presión son cortos y de un grado de reacción muy pequeño (álabes de impulso). En cambio, los álabes de escalonamiento de baja presión son largos y con un grado de reacción que puede llegar al 50%. En la imagen 8 observamos los álabes de un rotor de baja presión donde se nota que son más largos que los del rotor de alta mostrados en la imagen 5.



Imagen 8. Álabe en el rotor

En el álabe se distinguen tres partes: la raíz, el cuerpo y la cabeza. La raíz es la parte inferior del alabe por donde se fija al rotor, pudiendo ser de formas variables, los álabes son los que reciben la fuerza del chorro de vapor por lo que la superficie aerodinámica de los álabes se construyen de tres formas:

- **De área constante:** Por lo regular estos son cortos y se ocupan en el área de acción. En la imagen 9 observamos a detalle un ejemplo de este tipo de álabes.

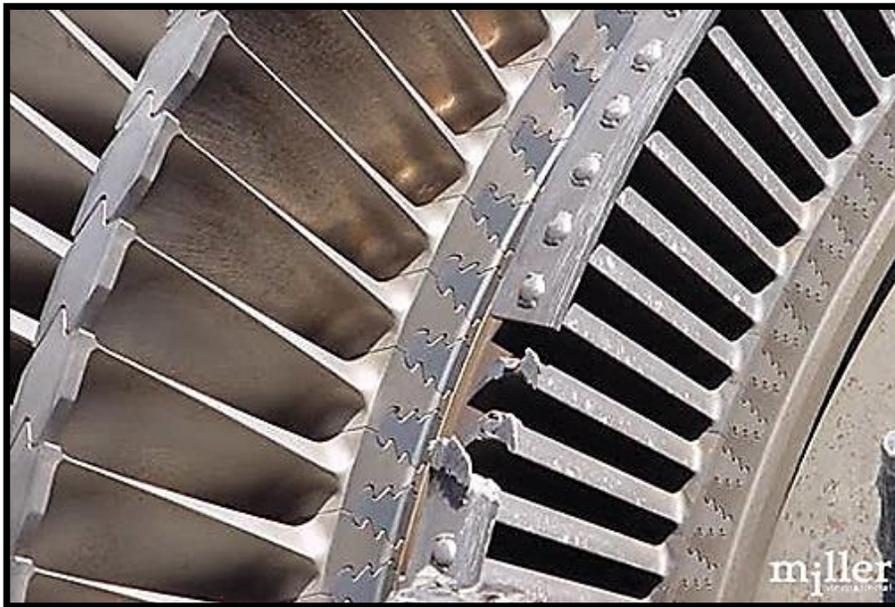


Imagen 9. Álabes de área constante

- **De área ahusada:** Como se muestra en la imagen 10 son álabes más largos y se usan donde se requiere disminuir el esfuerzo centrífugo.



Imagen 10. Álabes de área ahusada.

- **Los de área torcida:** Estos junto con los de área ahusada son básicamente álabes de reacción y se utilizan en las últimas etapas donde además de requerirse la disminución de los esfuerzos centrífugos se necesita un cambio en los ángulos del mismo por razones de eficiencia termodinámica. En la imagen 11 observamos un ejemplo de ellos.



Imagen 11. Álabes de área torcida.

d) Tobera ó diafragma:

Es el lugar donde una parte de la energía térmica del vapor se convierte en energía cinética ó de movimiento, su forma es cónica como se puede observar en la imagen 6, esto es con el objetivo de disminuir presión y aumentar velocidad al vapor entrante y así mejorar el encuentro del vapor con el alabe y hacer más eficiente el impulso del rodete. El diafragma es una parte estacionaria en la carcasa, separa los diferentes pasos y sostiene las toberas. El diafragma puede ser construido de manera que rodee la flecha con poca tolerancia, sin embargo, si la flecha roza el diafragma, este debe ser remplazado, puesto que hay desgaste y aumenta la tolerancia, y si la tolerancia esta fuera de lo requerido origina que no se produzca el trabajo útil calculado para esa etapa. En la imagen 12 podemos apreciar a un par de toberas montadas en el diafragma de una turbina de vapor.

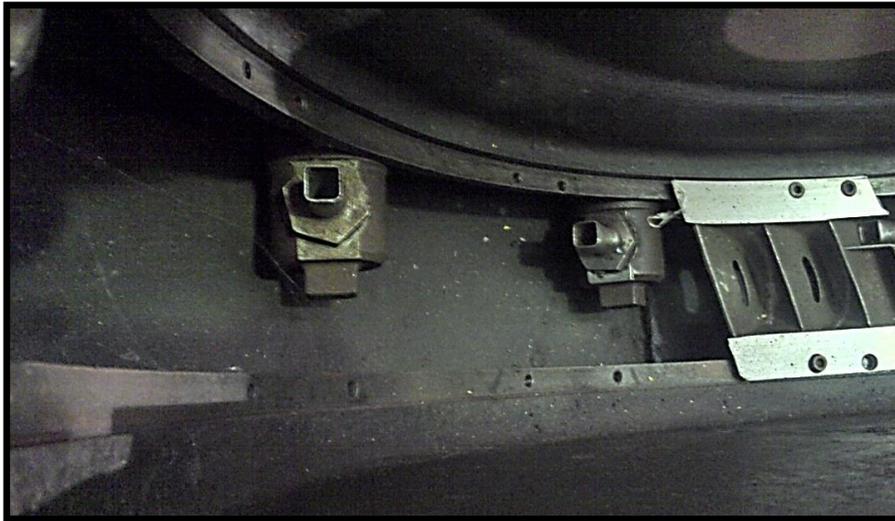


Imagen 12. Toberas montadas en la carcasa.

e) Sellos de laberinto:

Su función es evitar ó reducir la fuga de vapor en los puntos de cercanía entre la carcasa (parte fija) y la flecha (parte móvil) pueden estar situados en los extremos ó entre etapas en la imagen 8 se muestra en donde van colocados los de las turbinas ellyot. Un sello de laberinto consiste en un anillo de metal con filos que se ajustan muy cercanos a la flecha, permitiendo que algo de vapor pase a través de la tolerancia que existe los filos del laberinto y la flecha; pero este vapor al entrar en cada compartimiento forma remolinos y turbulencias que causan que baje la presión del vapor de compartimiento a compartimiento, siendo mínima la cantidad de vapor que atraviesa el sello. En la imagen 13 se observa los grabados internos con los que cuentan estos sellos, los que sirven para evitar las fugas de vapor.



Imagen 13. Sellos de laberinto en los porta sellos.

f) Empaques ó sellos de carbón:

En este caso el sello es producido por anillos de carbón y cada uno es mantenido unido a la flecha por medio de un resorte compresor, estos anillos al igual que los laberinto están separados por compartimientos y la fuga de vapor permitida por los anillos puede ser conectada a un sistema de menor presión, drenada ó extraída por medio de un eyector. Los empaques de anillos de carbón pueden ser sellados por medio de vapor para evitar la entrada de aire por el lado de la descarga en las turbinas con condensación. Como los anillos de fricción tienen buenas propiedades anti fricción, pueden ser instalados más cerca de la flecha e incluso tocarla, lográndose con esto, menores fugas de vapor que con los sellos de laberinto. Sin embargo, la resistencia mecánica del metal con que están hechos los sellos de laberinto, permite que estos sean usados a presiones y temperaturas mayores que los empaques de anillos de carbón. En algunas turbinas se utilizan una combinación de sellos de laberinto y de anillos de carbón. En la imagen 14 observamos en donde van montados los anillos de carbón, y en la imagen 15 se observan las distintas partes de los sellos de carbón.



Imagen 14. Sellos de carbón montados en la turbina.

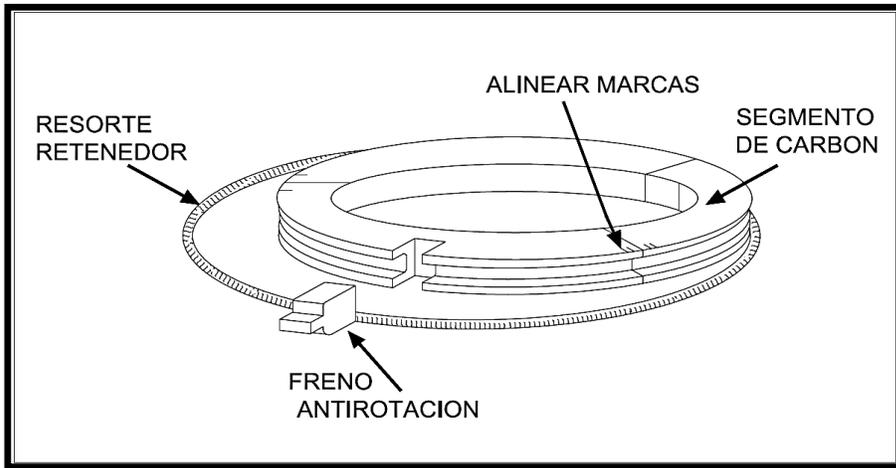


Imagen 15. Partes de los sellos de carbón.

g) Rodamientos:

Estos dos elementos son de suma importancia ya que tienen como objetivo que la flecha gire con lo mínimo de fricción y con lo mínimo de tolerancia ó juego radial y axial ya que esto es indispensable para que una turbina opere adecuadamente.

Los tipos de movimiento que puede sufrir una flecha se muestran en la imagen 16:

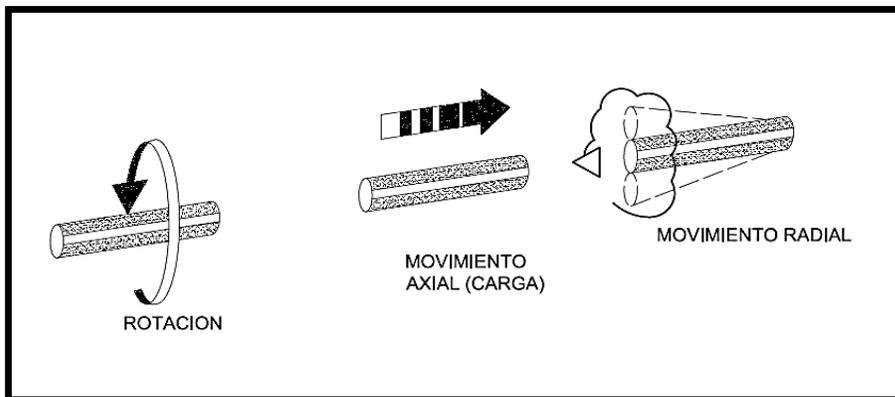


Imagen 16. Movimientos de la flecha.

Junto con el movimiento de rotación, una flecha puede tender a moverse en otras dos formas:

- 1) Cuando el vapor choca contra los alabes que se encuentran en el rodete el cual a su vez está colocado en el rotor ó flecha, fuerza a la flecha a desplazarse en forma axial, provocando que este desplazamiento aleje al rodete de las toberas aumentando así las tolerancias ó claros entre rodete y tobera produciendo una baja en la eficiencia de la turbina.
- 2) Cuando la flecha tiende a moverse fuera de centro este movimiento se llama radial, dando como producto el fenómeno de vibración en el rotor provocando desajuste en los elementos que integran a la turbina, el cual si no es detectado a tiempo puede dañar seriamente al equipo.

Ambos movimientos tanto radial como axial, deben ser controlados para mantener el rotor en posición óptima de operación.

h) Chumaceras: Una chumacera es un rodamiento montado que se utiliza para dar apoyo a un eje de rotación. Este tipo de cojinete se coloca generalmente en una línea paralela en el eje del árbol. El objetivo de una chumacera es dar soporte para la rotación de un eje, está compuesto de una parte rotativa y una fija. A continuación se explican los dos tipos de chumaceras existentes.

- **Chumaceras radiales.-** Su característica es la de soportar al eje con su (s) rodete (s) esto depende si es de un paso ó si es multi-etapas, permitiendo que gire libremente y evitando que el eje se mueva fuera de centro y gire libremente. En la imagen 17 podemos apreciar un corte en una chumacera radial.

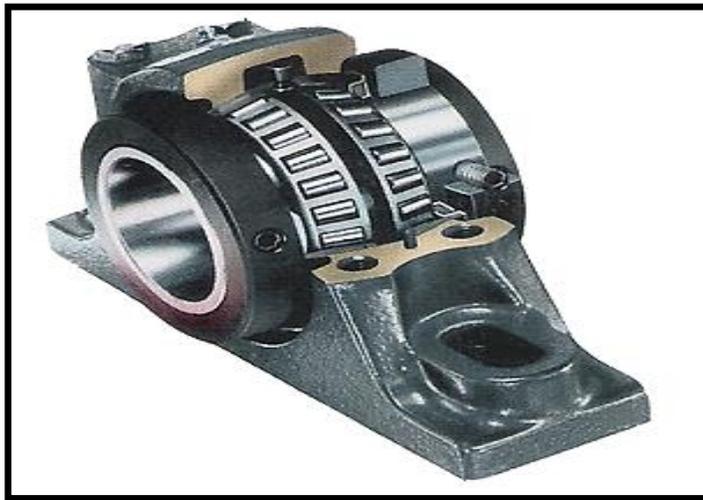


Imagen 17. Corte de chumacera radial.

- **Chumacera axial.-** Soportan la flecha ó rotor axialmente evitando su desplazamiento, debido a las fuerzas axiales que actúan sobre los alabes provocado por los chorros de vapor que salen de la tobera. También se conocen como chumaceras de carga. En la imagen 18 observamos una chumacera axial y podemos notar también las diferencias entre una radial y la axial.

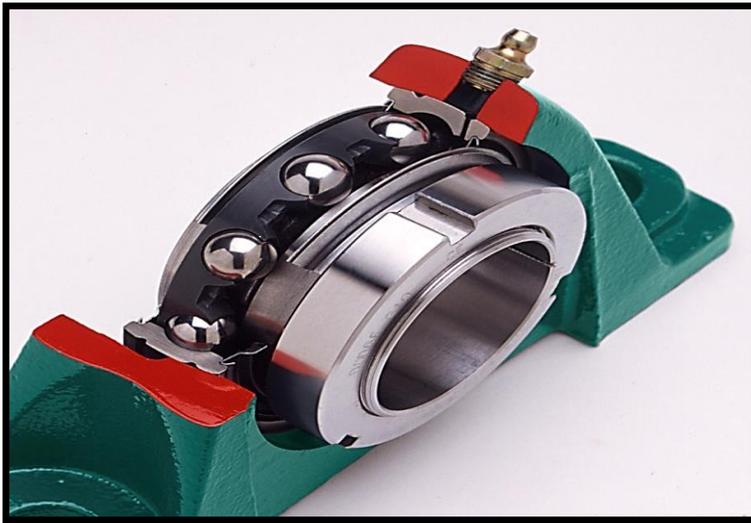


Imagen 18. Corte de chumacera axial.

i) **Baleros:** Estos elementos tienen el objetivo de evitar, al igual que las chumaceras el desplazamiento radial y axial en un eje ó flecha. Estos son los rodamientos los cuales mostramos sus distintas partes en la imagen 19, cabe mencionar que también se les puede llamar baleros.

Un balero tiene dos funciones principales:

- a) Transmitir carga.- Estas son las cargas a las cuales está sometida la flecha que al igual que las chumaceras son dos, la primer es de carga axial y la segunda es de carga radial.
- b) Como función secundaria debe de sujetar y fijar el eje

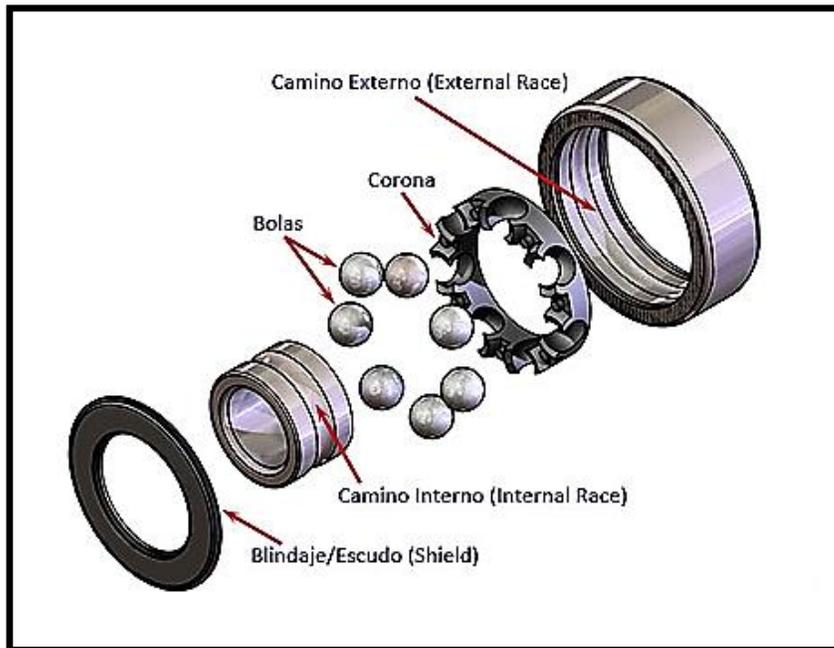


Imagen 19. Componentes de rodamientos.

j) Sistema de control de velocidad: La válvula del gobernador de una turbina sirve para regular la cantidad de vapor entrante a ella y con ello regula el trabajo a producir al elemento inducido. Cuando varían las cargas aplicadas a una turbina, su velocidad también lo hace por lo tanto es necesario un mecanismo que regule la entrada de vapor en función inversa a la velocidad de la turbina y este mecanismo se conoce como gobernador el cual debe llevar a la turbina a su velocidad de trabajo cada vez que se acelere ó desacelere según sea requerida la cantidad de trabajo.

Los gobernadores son dispositivos auxiliares de una turbina cuya función es la de controlar el flujo de entrada de vapor para mantener a la turbina siempre a su velocidad de trabajo

k) Gobernador mecánico de contrapesos:

Los gobernadores de contrapesos fueron los primeros en construirse al ser primeros eternamente mecánicos después hidráulicos y posteriormente los mecánico-hidráulicos. Construyendo más adelante sistemas de gobiernos más sofisticados como el gobernador estándar que está compuesto como principio de un motor eléctrico.

Para el buen uso de los dispositivos hidráulicos es necesario usar aceites de buena respuesta hidráulica como los son los lubricantes SAE. La limpieza es particularmente esencial en estos tipos de equipos ya que las impurezas ó basuras pueden obstruir los puertos de respuesta y ocasionar graves daños a la maquina en general.

En la imagen 20 se ve el principio de un gobernador mecánico de contrapesos, en este mecanismo los contrapesos se mantienen juntos mediante la fuerza de un resorte, pero conforme en pieza a girar la pieza la fuerza centrífuga hace que los contrapesos empiecen a separarse y cuando baja la velocidad el resorte los vuelve a su estado de reposo y con ello juntar los contrapesos.

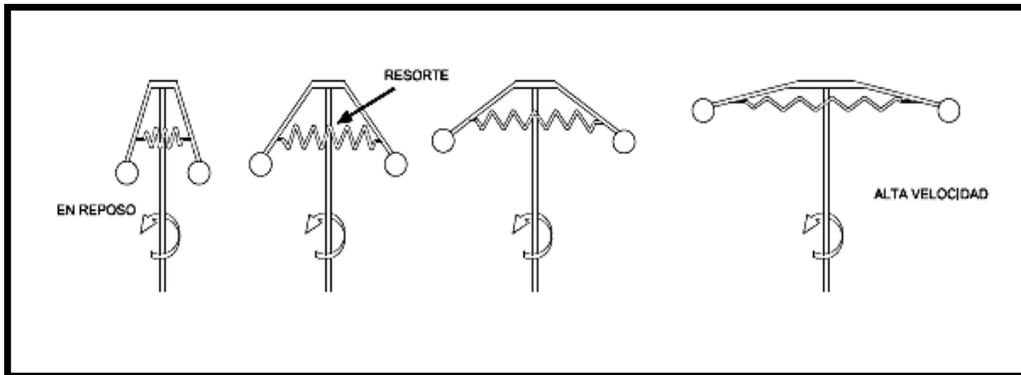


Imagen 20. Gobernador mecánico de contrapesos.

• **Gobernador de contrapesos de acción directa:**

Cuando la turbina está fuera de operación el resorte mantiene los contrapesos pegados a la flecha y la válvula del gobernador totalmente abierta. Conforme la flecha empiece a girar la fuerza centrífuga empieza a vencer el resorte del gobernador, y la válvula de vapor se irá cerrando hasta llegar al velocidad de trabajo ya que los contrapesos vencerán el resorte y equilibrarán la válvula de vapor para quedar en posición fija y así no acelerando más la turbina. En la imagen 20 se muestra el gobernador cuando la turbina está apagada ó en reposo, podemos notar que los contrapesos están en su posición natural y por lo tanto no presionan al resorte.

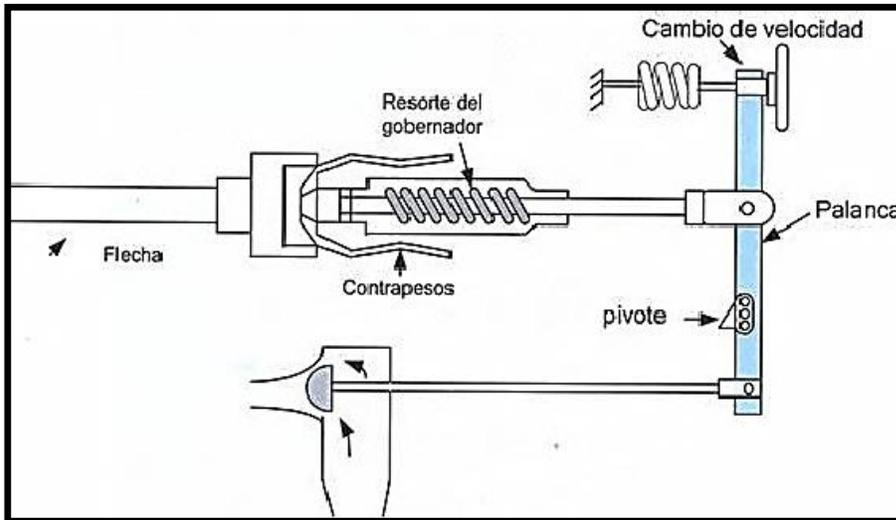


Imagen 21. Gobernador de contra pesos de acción directa.

En la imagen 21 vemos cómo se comportan los contrapesos cuando la turbina empieza a trabajar, si la carga de la turbina es aumentada la velocidad disminuiría y los contrapesos tenderían a juntarse entre ellos y con ello a abrir más la válvula de entrada de vapor hasta nivelar la turbina a su valor normal como se muestra en la imagen 22.

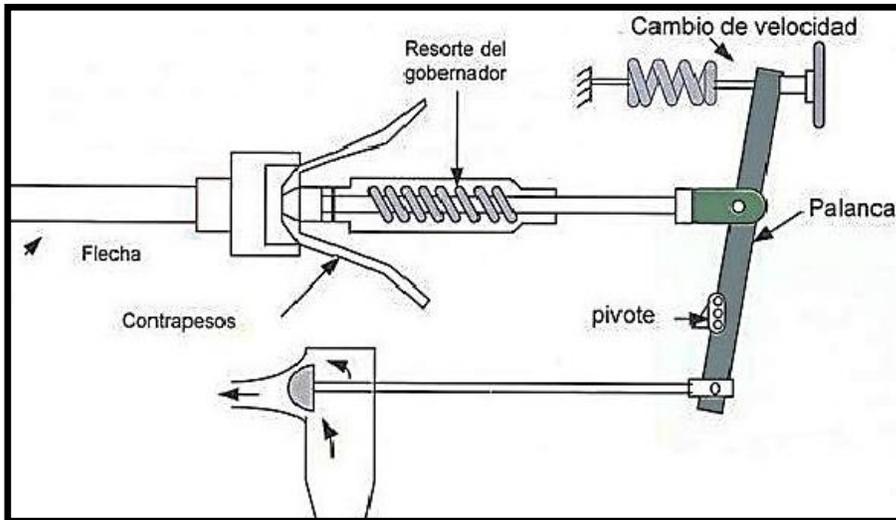


Imagen 22. Gobernador de contra pesos de acción directa (valor normal).

Si la carga disminuye simultáneamente los contrapesos se separaran venciendo el resorte del gobernador y con ello se cerrara la válvula de entrada de vapor. Como observamos en la imagen 23.

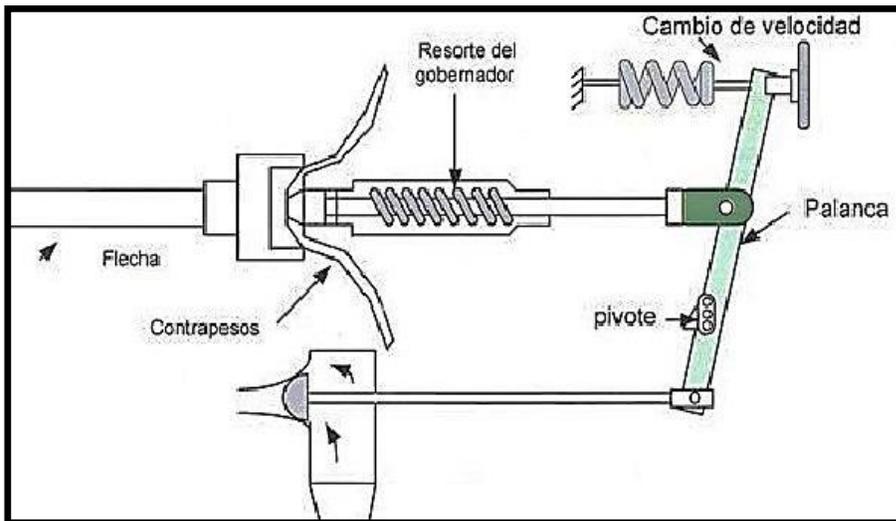


Imagen 23. Gobernador de contra pesos de acción directa (cerrado).

• **Gobernador hidráulico:**

El gobernador hidráulico para controlar la velocidad ó revoluciones de una turbina ya no utiliza contra pesos si no una bomba la cual está conectada a la flecha de la turbina, el diagrama se puede ver en la imagen 24, por lo tanto cuando la turbina esta parada la bomba deja de hacer presión en el circuito y con ello se mantiene totalmente abierta la válvula de vapor.

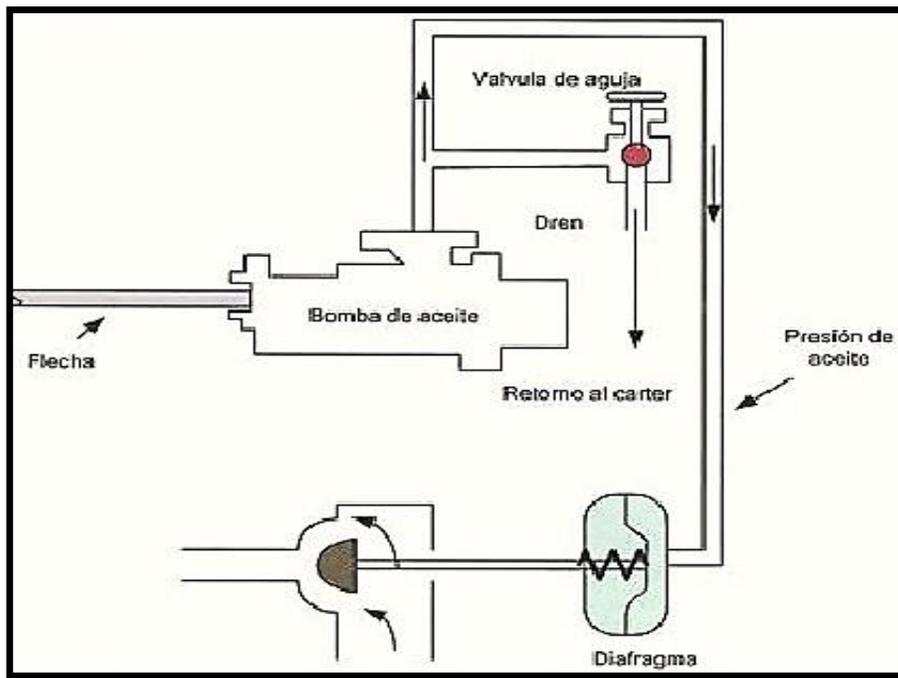


Imagen 24. Gobernador hidráulico abierto.

Conforme la flecha gire se bombeara aceite en el circuito el cual parte del aceite vuelve al Cárter donde la bomba succionara el aceite, al circuito está conectado un diafragma flexible el cual es vencido con la presión de aceite y se irá cerrando la válvula de vapor hasta dejar la turbina en su velocidad de trabajo.

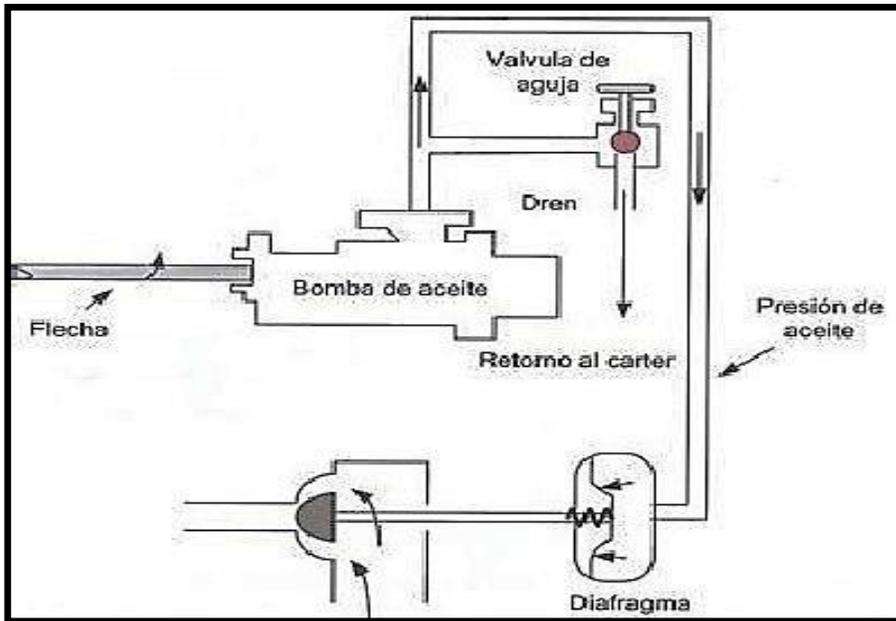


Imagen 25. Gobernador hidráulico cerrado.

Si la turbina aumenta su velocidad se bombeara más aceite lo cual presionara el circuito venciendo el diafragma flexible y cerrando la válvula de vapor por completo. En caso contrario si se pierde la presión de aceite en el circuito provocara que abra en su totalidad la válvula de entrada de vapor sobre revolucionando la turbina. Esto se puede observar en la imagen 25 ya cuando la presión de aceite empujo completamente el diafragma, cerrando por completo el pivote.

Por otro lado la temperatura afecta la viscosidad del aceite aumentando ó disminuyendo su flujo a través de la válvula de aguja, lo cual hay un cambio en la calibración de velocidad a alta temperatura fluye más aceite perdiéndose la presión de circuito acelerando la turbina y viceversa al bajar la temperatura del aceite se des presiona el circuito desacelerando la turbina.

Este tipo de gobernadores es muy comunes en máquinas de altas velocidades pero teniendo inconvenientes en su imprecisión con respecto a su velocidad ya que se convierten en inestables por la variación de temperatura del aceite.

• **Gobernadores de relevador de aceite:**

Este tipo de gobernador combina los principios de los gobernadores de contrapeso e hidráulico donde la presión de aceite acciona un pistón que está unido a la válvula de vapor, el cual está cargado por efecto de un resorte. En la imagen 26 que se muestra a continuación, se muestra un diagrama de dichos gobernadores, lo que ayudara a comprender mejor su trabajo.

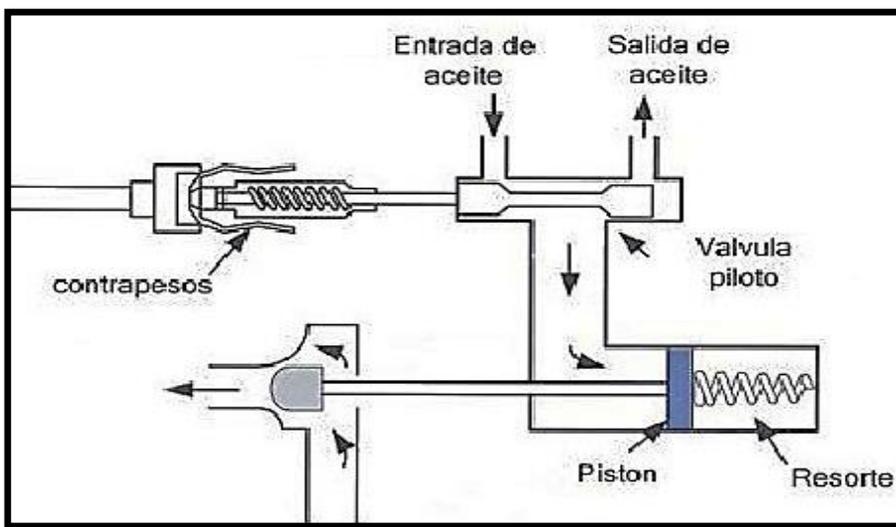


Imagen 26. Gobernadores de relevador de aceite.

Los contrapesos posicionan la válvula piloto que controla el flujo de aceite a través del relevador. En operación normal ambos puertos del relevador están parcialmente abiertos, pero cuando la válvula del gobernador debe de abrir para compensar una sobrecarga, los contrapesos se juntan obligando a la válvula piloto a moverse hacia la izquierda aumentando el puerto de entrada de aceite al pistón y reduciendo la salida a la consola de aceite.

Por el contrario si la carga disminuye, incrementándose la velocidad, los contrapesos se separan moviéndose la válvula piloto hacia la derecha, por lo que se cierra el puerto de entrada de aceite y se incrementa a la salida de la consola, con lo cual el resorte obliga a la válvula de vapor a cerrarse. El gobernador de aceite utiliza la fuerza hidráulica para mover la válvula de vapor esta fuerza es superior a la obtenida por contrapesos solos, además mantiene un control de la velocidad bastante preciso, sobre poniéndose a la fricción del mecanismos y fuerzas desbalanceadas y no tienen la tendencia a fluctuaciones. Puesto que los contrapesos mueven la válvula piloto para ajustar la velocidad, los cambios de temperatura del aceite no modifican las velocidades de control.

En algunas turbinas de vapor la válvula piloto no es movida por contrapesos si no por un motor pequeño motor eléctrico que esta acoplado a la flecha de la turbina donde las variaciones de velocidad se traducen en variaciones de corriente eléctrica el cual suministra a un solenoide que es el que hace variar la posición de la válvula piloto.

• Gobernador estándar:

El gobernador estándar es el “Wood Ward TG de control de velocidad mecánico e hidráulico “. El gobernador es soportado por la carcasa soporte del gobernador y acoplado al eje de la turbina a través de un eje flexible. El gobernador está conectado a la válvula reguladora a través de eje terminal. El gobernador TG tiene un recipiente el cual tiene la capacidad para 1.75 de aceite el cual se chequea su nivel por el indicador de nivel que está a un costado del gobernador.

El nivel de aceite debe ser revisado antes de poner la turbina en operación y chequear su nivel porque este siempre debe trabajar con un nivel apropiado de aceite , el cambio de aceite debe ser una vez al año y en caso de estar contaminado cambiarlo y verificar que origino su contaminación.

Como recomendación nunca sería apropiado operar el gobernador cuando el aceite este sucio ó este en un bajo nivel ya que este ocasionaría fallas en el gobernador y en la turbina misma.

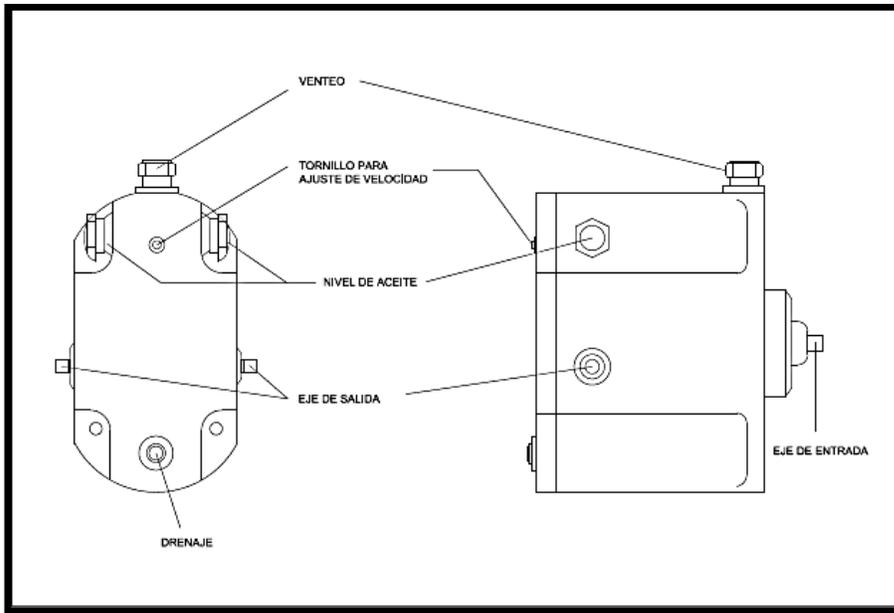


Imagen 27. Gobernador estándar.

Sus principales partes como podemos observar en la imagen 27 son:

- **Venteo:** este es una ventilación para el recipiente de aceite y para la aplicación del mismo así como para la salida de los gases del aceite.
- **Indicador de nivel de aceite:** El gobernador está dotado de unos indicadores de nivel a los costados para verificar el nivel del aceite.
- **Tornillo para ajuste de velocidad:** esta tuerca está colocada atrás del gobernador y aumenta la velocidad si es girada al sentido de las manecillas del reloj y viceversa si la giras en sentido contrario la velocidad de la turbina disminuiría, teniendo en cuenta que si se aumenta la velocidad podemos accionar el paro por sobre velocidad.
- **Eje de salida:** abre y cierra la válvula reguladora a través de las barras de unión del sistema de regulación.
- **Eje de entrada:** está conectado al eje de la turbina transmitiendo la velocidad de la turbina.

Disparo por sobre velocidad

El gobernador regula a la turbina bajo condiciones normales, pero a veces ocurren condiciones anormales. Si una turbina a carga completa es liberada a esa carga en forma inmediata, la turbina se sobre revolucionará. En la imagen 28 se muestra cómo trabaja el disparo por sobre velocidad, explicándolo a continuación.

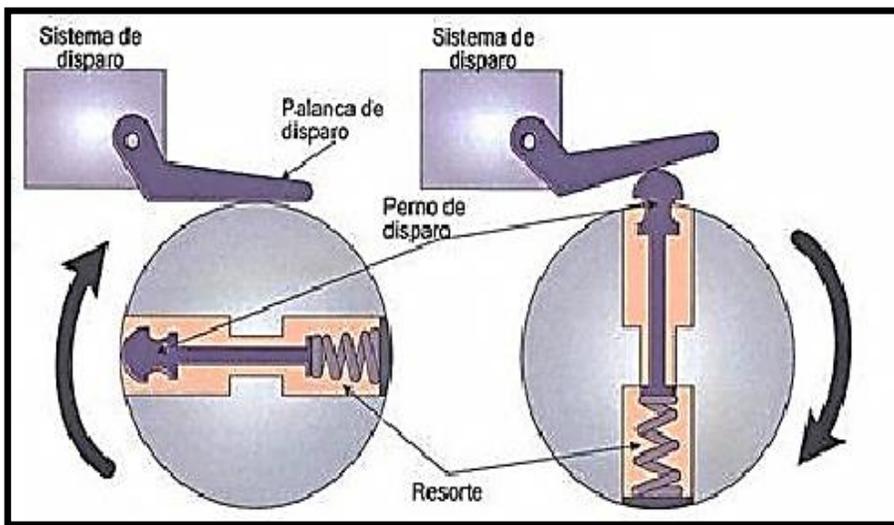


Imagen 28. Disparo por sobre velocidad.

El gobernador, en ocasiones, reacciona muy despacio ó falla, en estos casos el vapor debe ser cerrado rápidamente pues de lo contrario la turbina se acelera hasta despedazarse. A velocidades normales el perno permanece dentro de la flecha y consiste en un contra peso des balanceado sostenido a la flecha por un resorte, cuando la turbina se sobre revoluciona el perno se sale de la flecha por efecto de la fuerza centrífuga y golpea al gatillo que libera la cuña de montaje de la palanca de disparo y la válvula de disparo se cierra por efecto de resorte. En turbinas con válvulas de disparo muy grandes se usa aceite a presión para abrirlas y mantenerlas abiertas, aquí el resorte es comprimido por efecto de la presión del aceite, cuando la turbina se sobre revoluciona y el perno de disparo golpea al gatillo este libera una cuña, pero en este caso la cuña libera la válvula que da salida al aceite provocando que el resorte cierre la válvula de disparo.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

En el complejo petroquímico Morelos nos topamos con la problemática de que el mantenimiento se detiene cuando el mando alto (ingeniero de turno) ó el mando medio (cabo, encargado de taller) no está presente por diversas razones (vacaciones, permiso, ya que es el la única persona que tiene acceso a los manuales de procedimientos, aunado a la falta de preparación y/o información por parte del personal al momento de hacer las actividades, ó simplemente a la falta de respaldo teórico en el mantenimiento a una turbina de vapor puede provocar problemas ó tiempos muertos, reflejándose en una pérdida económica

En la imagen 29 podemos observar una turbina desarmada y el mantenimiento detenido ya que el personal aún no sabe cómo corregir la falla de la turbina y el ingeniero a cargo anda de vacaciones.



Imagen 29. Carcasa en el piso y la turbina tapada y sin rotor y completamente inoperable.

En algunos casos el mantenimiento se detiene a tal punto en donde el equipo se vuelve inoperable, tal como observamos el equipo mostrado en la imagen 30, en la cual se puede observar el equipo totalmente deteriorado por la corrosión ya que lo dejan al aire libre para darle mantenimiento sin siquiera taparlo.

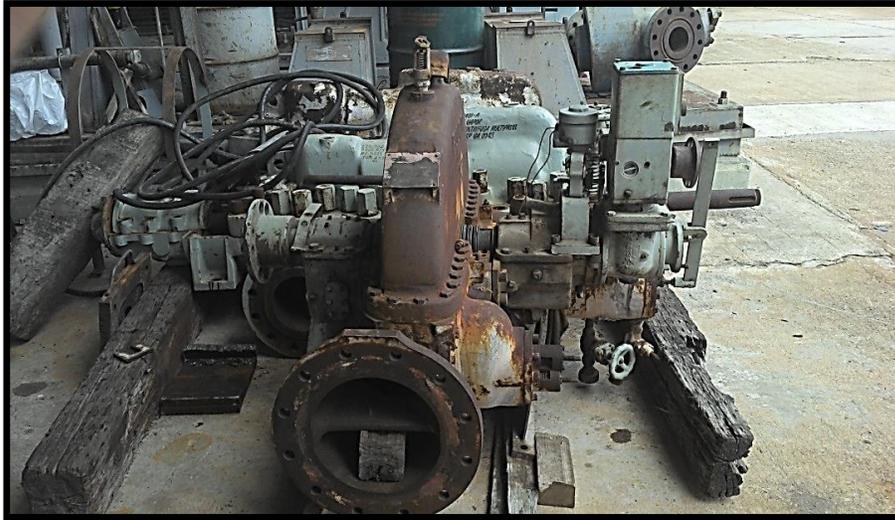


Imagen 30. Turbina parada y los efectos de la corrosión.

En algunos casos solo intentan corregir el problema mediante el uso de poliuretano y láminas de zinc, creándole una especie de armadura a la turbina, pasando por alto el mantenimiento y solo corrigiendo el problema con un “remedio casero”, como podemos observar en la imagen 31.



Imagen 31. Turbina parada debido a la falta de mantenimiento.

La falta de información genera también que solo se de mantenimiento a algunas partes de la turbina, pasando por alto otras partes que también son importantes para el funcionamiento óptimo de las turbinas, en la imagen 32 se puede ver como al darle mantenimiento dejan de lado parte de la carcasa inferior, la cual contiene los sellos de carbón y sellos de laberinto los cuales es importante revisar en cada mantenimiento.



Imagen 32. Parte de la carcasa que cubre la parte externa del rotor tirada en el piso.

La falta de limpieza también es un problema grave dentro de las instalaciones ya que habla mucho de la capacitación al personal por parte del complejo Morelos. Al hacer un pequeño recorrido por las instalaciones del complejo petroquímico Morelos, nos podemos dar cuenta de la falta de limpieza a la hora de realizar los trabajos de mantenimiento y trabajos en general, como se mostró en las imágenes anteriores.

2.2.- FALLAS MÁS COMUNES EN TURBINA DE VAPOR:

A continuación en la tabla 3 clasificaremos las fallas más comunes en la turbinas de vapor, y las explicaremos más adelante para así poder adentrarnos en nuestra propuesta de mantenimiento.

Las fallas más comunes las mostraremos en la tabla 3:

| | | |
|----------------|--|--|
| DE DISEÑO | DINÁMICAS | |
| | ESFUERZOS AXIALES | |
| | SISTEMAS AUXILIARES | LUBRICACIÓN REGULACIÓN PROTECCIONES SELLOS VACÍO |
| | TUBERÍAS DE VAPOR | |
| DE FABRICACIÓN | DEFICIENTE CONTROL DE CALIDAD POR PARTE DEL FABRICANTE | |
| INSTALACIÓN | NIVELACIÓN ALINEACIÓN CIMENTACIÓN ENSAMBLE TURBINAS DE VAPOR (FALTA DE LIMPIEZA) SISTEMAS DE LUBRICACIÓN (LIMPIEZA) SISTEMAS DE PROTECCIÓN PRUEBAS DE CAMPO | |
| UTILIZACIÓN | OPERATIVAS Y DE MANTENIMIENTO | TURBÍNAS AUXILIARES PROTECCION |
| | VAPOR | PUREZA CONTENIDO DE HUMEDAD |
| | FATIGA Y/O DESGASTE DE SUS ELEMENTOS | |

Tabla 3. Clasificación de las fallas en las turbinas de vapor.

A continuación analizaremos cada una de las clasificaciones mostradas en la tabla 3:

2.2.1.- FALLAS DE DISEÑO

- **Dinámicas:**

Por las demandas actuales en las plantas industriales, el aspecto dinámico es uno de los mayores retos por lo que se enfrenta el diseñador de turbinas, ya que estas están sujetos a desgastes prematuros y fallas repentinas, en elementos como alabes y chumaceras y por consecuencias las partes estacionarias como: sellos, cajas, etc.

- **Esfuerzos axiales:**

Esta falla de consecuencias graves a la que expuesta la maquinaria rotatoria de alta velocidad, ya que estos se excede los de capacidad de carga de la chumacera, en consecuencia, estos equipos deberán estar protegidos con sistemas de disparo automático por excesivo desplazamiento axial, usar chumaceras axiales de tipo basculante y sensores de carga.

- **Sistemas auxiliares:**

Gran parte de estos problemas que normalmente se presentan en la operación son causados por la deficiente especificación y calidad de sistemas auxiliares; así podemos encontrar:

- a) Sistemas de lubricación deficientes en su operatividad, mala filtración, disipación de calor.
- b) Sistemas de regulación que no cumple con los requerimientos de compatibilidad y en fiabilidad demandados a la unidad.
- c) Sistemas de protección que no protegen a la unidad por requerimientos mínimos ó la complicación por excesos.

d) Sistemas de sellado con diseño limitado ya que fuga demasiado, contaminando al aceite ó por permitir el aire al condensador.

e) Sistemas de vacío con diseños limitados ideales de operación donde pequeñas entradas de aire ó ensuciamiento del condensador, nos disminuyen eficiencia de la turbina con notables incrementos de la demanda de vapor.

f) Sistemas de vacío con diseños limitados ideales de operación donde pequeñas entradas de aire ó ensuciamiento del condensador, nos disminuyen eficiencia de la turbina con notables incrementos de la demanda de vapor.

- **Tuberías de vapor:**

Normalmente este tipo de fallas es por la existencia de dilataciones térmicas, no compensados ó falta de flexibilidad de la tubería y por los esfuerzos con la brida de la máquina, puede causar un desalineamiento y puede llegar provocar fracturas.

2.2.2.- FALLAS DE FABRICACIÓN:

Que elementos integrantes de la turbina no sean de buena calidad ó estén dañados de fábrica. Por ejemplo: una carcasa bretada, un rotor con los alabes rotos, un eje chueco.

2.2.3.- FALLAS POR INSTALACIÓN:

- a) **Cimentaciones:** La cimentación debe reunir las características de ser independientes para no recibir vibraciones parásitas; rígidas para no estar sujeta ni a deformaciones y asentamientos y dinamizante compatible para evitar resonancia estructural.
- b) **Nivelación:** Normalmente se tiene que ajustar a las recomendaciones del fabricante.
- c) **Alineación:** Por experiencia es obvio que el equipo debe estar dentro de las lecturas permisibles, ya que en su defecto ocasionan daños en chumaceras, acoplamientos, etc., es recomendable hacer “verificaciones en caliente “.
- d) **Ensamble:** Es muy posible que algunos de los problemas posteriores que se presentan en el equipo, sean en realidad descuidos de esta fase.
- e) **Tuberías:** Una vez terminado el montaje debe limpiarse perfectamente las tuberías de vapor de aceite y barrerse con aire.
- f) **Sistema de lubricación:** Al igual que el vapor se debe hacer una buena limpieza incluido con lavado químico que arrastre todas las impurezas que puedan dañar la chumacera, limpieza de filtro y enfriadores.
- g) **Sistemas de protecciones:** Por ser su función evitar fallas mayores al equipo, sus conexiones, calibraciones y secuencias, deberán ser de óptima calidad y probados repentinamente hasta asegurar su operatividad.
- h) **Pruebas de campo:** Podemos enumerar los que siguen:
 - a) Calibración, ajustes y simulación.
 - b) Prueba de vacío de la turbina a muy baja velocidad.
 - c) Pruebas de hermeticidad mínima de gobierno.
 - d) Disparo manual.
 - e) Prueba de sistema de gobierno a velocidad continúa.
 - f) Prueba de conjunto.

2.2.4.- FALLAS POR UTILIZACIÓN:

a) Operativas y mantenimiento:

- Vibraciones excesivas por descuidar el tiempo requerido para el calentamiento de rotores y carcasa en turbinas de gran tamaño.
- Golpe de ariete por no haber eliminado el condensado correctamente.
- Fallas mayores por haber cancelado ó inutilizado algunos de los sistemas de protección, daños en chumaceras, por permitir que el equipo opere con excesivas fugas de vapor que puedan degradar el aceite.

b) Fatiga ó desgaste de sus elementos:

- Fracturas de alabes.
- Daños a chumaceras axiales.
- Vibración por desbalanceo ocasionado por adherencias en los alabes.
- Erosión.
- Disminución de potencia, causada por el cambio de los perfiles geométricos de toberas y alabe.
- Descontrol de niveles de aceite, presión, temperatura.

CAPÍTULO III

PROPUESTA DE MANTENIMIENTO

3.1.- Mantenimientos a una turbina de vapor:

Habitualmente el mantenimiento se define como: El conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones industriales durante el mayor tiempo posible y con el máximo rendimiento. Un buen mantenimiento genera un posible ahorro a futuro, también hace que las maquinas funcionen mejor y no presenten fallas.

Los diferentes tipos de mantenimiento se dividen en:

- Predictivo
- Preventivo
- Correctivo

A continuación veremos los procedimientos propuestos para cada uno de los mantenimientos mencionados.

3.2.- Procedimientos de los distintos tipos de mantenimiento:

Mostraremos una serie de actividades a realizar para cada tipo de mantenimiento, y también mostraremos la programación de los 3 tipos de mantenimiento descritos en este manual.

3.2.1 Mantenimiento predictivo: Este mantenimiento tiene como finalidad la prevención del deterioro de los equipos y componentes de los mismos. En una turbina de vapor este mantenimiento resulta el más económico ya que se trata solamente de checar que todo funcione correctamente en la turbina de vapor, aunque si no se efectúa puede generar unos altos costos y una pérdida de tiempo muy larga. Dado que no existe ningún formato estandarizado para el mantenimiento a los equipos, a continuación se presenta un programa para la correcta aplicación de dicho mantenimiento. Nosotros para mejorar la eficiencia de este mantenimiento lo dividiremos en 3 partes: Diario, Semanal y Mensual. Ya que consideramos que un buen mantenimiento predictivo es la base de un buen mantenimiento en general.

Comentario [JMPS1]: CHECAR E INVESTIGAR ACERCA DE ESTO Y PONERLE

Comentario [JMPS2]:

A continuación explicaremos cada uno de ellos y las actividades que comprenden:

a) Mantenimiento diario:

Este mantenimiento se enfoca principalmente a checar el adecuado funcionamiento de la turbina de vapor, se limita a checar la presión de aceite, presión de vapor entrante y presión de vapor saliente, temperatura de chumaceras, fugas de vapor ó de aceite. Es decir, sus lecturas y lo tendrá que hacer un operario especialista ya que él es el único que tiene la experiencia para poder notar si algo anda mal. Nos referimos a sonidos extraños, vibraciones extrañas, etc... En este mantenimiento se realizaran las siguientes actividades:

1. Checar la temperatura de las chumaceras.
2. Checar la presión de aceite.
3. Checar la presión de vapor (entrada y salida).
4. Verificar que la turbina funcione adecuadamente.

Este mantenimiento es muy importante ya que al hacerlo de manera adecuada y rigurosa es la antesala del mantenimiento preventivo ya que al detectar algo extraño en la turbina, se procede a realizar el los pasos del mantenimiento preventivo descrito más adelante. También es el más rápido ya que un operario se tardara 1 hora checando a conciencia todas las lecturas así como también observando atentamente si existe algo raro en el funcionamiento de la turbina. En el anexo No. 1 se muestra un formato para su aplicación. En la tabla 4 veremos una cómo se va conformando nuestro programa.

MANTENIMIENTO PREDICTIVO DIARIO

| | LUNES | MARTES | MIÉRCOLES | JUEVES | VIERNES | SÁBADO | DOMINGO |
|----------|-------|--------|-----------|--------|---------|--------|---------|
| SEMANA 1 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| SEMANA 2 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| SEMANA 3 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| SEMANA 4 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

| | |
|---|--------|
| ■ | DIARIO |
|---|--------|

Tabla 4. Programa de mantenimiento predictivo diario

b) Mantenimiento semanal:

El mantenimiento semanal se enfoca a checar lo niveles de aceite y de vibración de la turbina, y los niveles de lubricación de la turbina de vapor, se deberá de checar que el rotor este adecuadamente engrasado sin llegar al exceso, también se le deben de checar los niveles del vapor. Este mantenimiento se deberá de hacer en conjunto con el mantenimiento diario ya que cada uno se enfoca a checar distintas cosas de nuestra turbina de vapor, y por consiguiente no podemos pasar por alto ninguno de los pasos mencionados en este capítulo. Las actividades de este mantenimiento serán las siguientes:

1. Tomar muestra de aceite para checar su viscosidad y anotarla en el formato
2. Verificar la vibración con un vibrometro y registrarlo en el formato
3. Escuchar con un estetoscopio el adecuado funcionamiento y observar si funciona adecuadamente.

Este mantenimiento tardara aproximadamente 2 horas tan solo en este mantenimiento pero como mencionamos antes se deberá de combinar con el mantenimiento diario. En el anexo No. 2 se muestra un formato para el adecuado registro de las lecturas tomadas en este mantenimiento, el cual la deberá de llevar a cabo un operario con su respectivo ayudante. En nuestro programa quedara marcado como se muestra en la imagen a continuación:

MANTENIMIENTO PREDICTIVO SEMANAL

| | LUNES | MARTES | MIERCOLES | JUEVES | VIERNES | SABADO | DOMINGO |
|----------|-------|--------|-----------|--------|---------|--------|---------|
| SEMANA 1 | | | | | | | |
| SEMANA 2 | | | | | | | |
| SEMANA 3 | | | | | | | |
| SEMANA 4 | | | | | | | |

| | |
|--|---------|
| | SEMANAL |
|--|---------|

Tabla 5. Se muestra nuestro programa de mantenimiento predictivo semanal.

c) Mantenimiento mensual:

Este mantenimiento entra más a fondo en el estado de la turbina, ya que es la antesala del mantenimiento preventivo. Se tiene que checar el estado de las chumaceras, que no se presenten grietas, que estén limpias, se tiene que checar la alineación del rotor y que no presente desgaste, se checan los disparos por sobre velocidad y que nada obstruya al disparador, también necesitamos escuchar el estado de los rodamientos, esto lo haremos con un estetoscopio, el cual también nos ayudara a checar el estado del rotor y que no presente desgaste ó rozaduras con cualquier parte de la turbina. En caso de que presente rozaduras ó desgaste que sobrepasen los límites establecidos en la ficha técnica de la turbina en cuestión, se procederá la aplicación del mantenimiento preventivo descrito más adelante.

Las actividades que deberemos de aplicar serán:

1. Checar la tolerancia de las chumaceras.
2. Checar la alineación del rotor.
3. Probar dispositivo por sobre velocidad.
4. Checar con estetoscopio el estado de los rodamientos.

Este mantenimiento se realiza cada mes debido a que es el periodo adecuado de tiempo para poder checar a fondo el estado de nuestra turbina ya que por parte del fabricante algunos le dan mantenimiento cada 6 meses y otros cada 12 meses, por lo cual este mantenimiento cada mes encaja perfecto entre cada programación del mantenimiento por parte del fabricante, porque nos permite conocer exactamente en qué momento se detectó la falla y al conocer esto nos permite aplicar a tiempo el mantenimiento preventivo descrito más adelante.

También mencionaremos que este mantenimiento no se lleva más de 2 jornadas en su correcta aplicación, por lo cual no implica mucho gasto tanto como en el costo de mano de obra tanto como en producción y en herramientas.

En el anexo No. 3 se muestra un formato para su aplicación la cual la deberá de llevar a cabo 1 ó 2 operarios con su respectivo ayudante cada uno, esto dependerá del tiempo disponible para su mantenimiento.

A continuación veremos en la imagen de cómo nos quedaría el programa de los 3 tipos de mantenimiento predictivo.

MANTENIMIENTO PREDICTIVO

| | LUNES | MARTES | MIERCOLES | JUEVES | VIERNES | SABADO | DOMINGO |
|----------|--------|--------|-----------|--------|---------|------------------------|---------|
| SEMANA 1 | DIARIO | DIARIO | DIARIO | DIARIO | DIARIO | DIARIO SEMANAL | DIARIO |
| SEMANA 2 | DIARIO | DIARIO | DIARIO | DIARIO | DIARIO | DIARIO SEMANAL | DIARIO |
| SEMANA 3 | DIARIO | DIARIO | DIARIO | DIARIO | DIARIO | DIARIO SEMANAL | DIARIO |
| SEMANA 4 | DIARIO | DIARIO | DIARIO | DIARIO | DIARIO | DIARIO SEMANAL MENSUAL | DIARIO |



Tabla 6. Programa final de nuestro mantenimiento predictivo.

Notamos como el día sábado se juntan los 3 mantenimientos, esto es debido a que nuestra propuesta de mantenimiento implica que se complementen entre sí los 3 mantenimientos para poder generar un ahorro, es decir, se aplicara el formato de la tabla 4 diario, y cada semana se aplicará el formato la tabla 5 sucesivamente, y cada mes se aplicara el formato de la tabla 6. Siguiendo los 3 formatos mencionados de los anexos se busca implementar un adecuado programa de mantenimiento predictivo. Aplicando esta propuesta de mantenimiento se busca reducir el costo de mantenimiento como lo detallaremos más adelante.

3.2.2. Mantenimiento preventivo:

Este tipo de mantenimiento es el destinado a la conservación de equipos ó instalaciones mediante la realización de revisiones y reparaciones que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad. Este mantenimiento es que aplicaremos al momento de encontrar una falla ó un problema durante el mantenimiento predictivo, el mantenimiento aquí descrito son una serie de actividades las cuales se pueden aplicar en conjunto ó simplemente cada actividad por separado. Este tipo de mantenimiento es el más importante ya que estudia más a fondo la turbina que el mantenimiento predictivo. Este mantenimiento no deberá de tardar más de 5 días, entre 2 operarios especialistas y sus ayudantes. El mantenimiento preventivo a las turbinas se hace de acuerdo a los fabricantes dos veces por año pero la empresa dueña de la turbina puede hacerlo cuantas veces quiera al año y consiste en las siguientes actividades:

- a) Inspección de chumaceras radiales y axiales.
- b) Verificar el desplazamiento axial del rotor.
- c) Verificar el desplazamiento radial del rotor.
- d) Inspección del acoplamiento.
- e) Verificar el alineamiento del acoplamiento.
- f) Verificar que el sistema de regulación actúe normal y hacer limpieza y cambio de aceite al gobernador.
- g) Verificar que el mecanismo de disparo manual accione normal.
- h) Hacer cambio de aceite y limpieza de la consola así como revisión y/o cambio de filtros.
- i) Probar que actúen los disparos y alarmas de protecciones.
- j) Verificar la calibración de los sensores de vibración, desplazamiento y temperatura por parte del departamento de instrumentos (solo en turbinas grandes).
- k) Probar el disparo por sobre velocidad de la turbina en vacío.

- l) Es conveniente que se haga un lavado al rotor de la turbina para desincrustar los alabes por hidratos y suciedad, que ocasionan pérdida de eficiencia en la turbina y a veces vibración por desbalance.
- m) Revisar y hacer limpieza al sistema de eyectores y condensador.

Esta verificación se hace en un periodo de no más de 5 días. Y para ello es muy importante contar con las refacciones más comunes por si se necesita remplazar alguna de ellas.

Cuando se hace cambio de aceite a las consolas ya sea en un mantenimiento preventivo ó correctivo de las turbinas. Es conveniente instalar coladeras de mallas fina ó manta reforzada a la entrada de las chumaceras y en llegadas al sistema de regulación y re circular aceite durante un periodo razonable de tiempo, esto con el objetivo de eliminar al máximo residuos de tierra ó sólidos que arrastre el aceite.

Una vez re circulado el aceite, tener la precaución de retirar las coladeras, ya que de olvidar de quitar algunas de ellas ocasionaría trastornos en la lubricación de chumaceras ó el sistema de regulación y corte.

El mantenimiento preventivo va muy ligado al mantenimiento predictivo ó de diagnóstico ya que por medio de este último se da seguimiento a la operación de la máquina, a través de las lecturas de vibración, temperatura en chumaceras, lectura de desplazamiento axial y lectura de condiciones operativas propias de la turbina.

Las lecturas de vibración se llevan a través del monitoreo continuo por medio de los sensores instalados en las chumaceras y leídas en el monitoreo del cuarto de control, calibrados en un punto máximo permisible de alarma y disparo protegiendo de esta manera a la máquina de una vibración destructiva.

El otro control de vibraciones mecánicas es por medio de vibrometros, y se lleva a cabo normalmente cada 15 días y si es necesario cada 8 días según lo crítico del equipo. A continuación presentaremos una serie de pasos que se deben de seguir para la realización de algunas inspecciones:

I. Revisión de chumaceras y rodamientos:

El cambio de chumaceras y rodamientos se realiza al monitorear el comportamiento de los mismos, veremos a continuación los parámetros a seguir:

- a) Registro del comportamiento de los apoyos (lecturas y graficas de vibración).
- b) Tomar temperatura de los apoyos de los equipos.
- c) Verificar el cambio de sonido del rodamiento al realizar los recorridos en campo.
- d) Realizar el cambio de rodamiento, cuando presente daño en las bolas ó pistas según el análisis de vibración correspondiente.
- e) Verificar contacto de la flecha con las chumaceras empleando azul de Prusia en el caso de chumaceras cilíndricas.
- f) Verificar claros de la chumacera con plastigage (calibrador para medir claros) este es una pequeña banda como un curita que se inserta en el espacio entre el eje y la chumacera, y se le da vuelta manualmente al eje, y en las zonas donde haya fricción entre el rodamiento y el eje, el plastigage dejara una marca sobre el eje y la banda quedara sin el color.
- g) Realizar cambio de chumaceras como se muestra en el punto no 2, siempre y cuando estén fuera del claro permisible.
- h) Verificar ajuste y/o claro del rodamiento en la flecha y en la caja del mismo.
- i) Verificar ajuste de la chumacera con respecto a la porta chumacera y/o caja de chumacera.

II. Inspección de chumaceras:

a) Chumaceras radiales:

Cuando se destapen las chumaceras radiales es conveniente acondicionar un soporte para desmontarlas sin hacer ningún daño a estas.

Ya desmontadas se observa el estado físico de estas; si hay ralladuras ligeras ocasionadas por suciedad en el aceite se pueden eliminar esas escoriaciones con una estopa. Una vez hecho esto se revisa también el muñón, verificando que no tenga ningún golpe, que no tenga rayado profundo que no esté erosionado etc., se verifica el diámetro de este en diferentes posiciones, para cónico u ovalado.

Si está dentro de lo especificado y solo tiene ligeras rayas, se le da una pulida en campo. Si el daño es mayor se programa para una reparación mayor. Si las chumaceras, presentan desprendimiento del babbitt es conveniente cambiarlas ó si el desgaste por fricción es demasiado también hay que cambiarlas. La chumacera se monta y se verifica el claro con plastigage y apretando las tapas normales, si el claro está dentro de lo que marca el fabricante proseguir, si es menor habrá que ampliar el diámetro, y si es mayor proceder a reemplazarlas.

Es conveniente verificar que no exista claro entre el diámetro exterior de la chumacera y la porta chumacera ya que esto ocasionaría vibración en el rotor. Este claro también se puede verificar con plastigage teniendo que ser este claro de CERO milésimas.

El apriete de las tapas de chumaceras, deberá de hacerse con torquí metro y en forma cruzada.

b) Chumaceras axiales:

Normalmente las turbinas grandes utilizan chumaceras de zapatas axiales llamadas KINSBURY. El rotor lleva un plato de empuje montado ó maquinado en la misma flecha. En este disco de empuje recargan las chumaceras axiales; por un lado va la ACTIVA y por el otro la INACTIVA. Se le llama activa porque soporta los empujes naturales ocasionados por la fuerza del vapor al empujar a los alabes y esta es la que comúnmente sufre desgaste. La inactiva solo sirve para mantener fijo el rotor en su centro y que no sufra un desplazamiento fuerte por algún bandedo de la máquina.

Al revisar las zapatas es conveniente verificar el estado del babbit, si es solamente ralladuras ligeras por suciedad se pueden eliminar las rebabas con lija # 600 muy suavemente.

Después de esto se miden con micrómetros los espesores, deberán medir lo mismo todos, también una vez armada es conveniente verificar que pivoteen y que no tengan obstrucción, pues sería fatal que una se quedara atorada, ya que no habría cuña de lubricación.

III. Verificación y ajuste del juego axial:

La relación de los ajustes de juego axial, se lleva a cabo mediante un procedimiento, el cual mencionamos a continuación, este trabajo deberá realizarse y como resultado del monitoreo y de los análisis correspondientes de vibración se detecten fallas que sean el resultado de los desajustes del mismo.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- a) Medir el juego axial de los rotores de los equipos dinámicos con el indicador de caratula colocado en un extremo.

- b) Para turbinas de vapor y motores eléctricos horizontales y verticales con apoyos de rodamientos; el juego axial del rotor está limitado por el juego que tienen las bolas dentro de la pista interior y exterior, debemos medir y considerar el tipo de rodamiento antes de cambiar los rodamientos.

- c) Para turbinas de vapor con chumaceras axiales el juego axial del rotor será el que especifique el fabricante del equipo.
- d) La corrección del juego axial del rotor para turbinas de vapor y motores eléctricos horizontales y verticales con apoyos de rodamientos se realizara cuando el juego axial sea mayor de 0.005" lo cual hace necesario cambiar el rodamiento ó reparar la caja según sea el caso ó daño encontrado, en el caso de las turbinas de vapor algunos fabricantes mencionan como límite para la reparación y/o cambio hasta 0.025" es importante apoyarse en los manuales de los equipos para la realización de estos trabajos.
- e) El ajuste del juego axial del rotor para turbinas de vapor, con chumaceras axiales, se realizara cuando el juego axial del rotor sea mayor del claro que especifique el fabricante del equipo.

Este procedimiento consta de los siguientes pasos:

- a) Se verifica el desgaste de las zapatas de las chumaceras axiales para determinar su posible cambio.
- b) Con el aumento ó disminución del espesor de la liana se le ajustan los juegos axiales a los rotores de la turbina de vapor, debemos asegurarnos de no salirnos del claro permitido al rotor con relación a sus toberas pues la turbina perdería eficiencia.
- c) Para evitar complicaciones es conveniente registrar en el expediente del equipo las dimensiones de las zapatas en caso de que sean de este tipo las chumaceras de carga.

IV. Inspección del acoplamiento:

Cuando se desacopla el equipo es conveniente que se marque el carrete con los mamalones. (En caso de que no tenga marcas) también es recomendable colocar los tornillos conforme se vayan quitando ponerlos en el carrete para que no se revuelvan, esto es con el objetivo de evitar el desbalanceo por intercambio de piezas. Normalmente el carrete tiene unos orificios por donde penetra la lubricación hacia los dientes, se debe tener la precaución de que este bien limpio, libres de suciedad y partículas finas. Al hacer limpieza de los mamelones y carrete inspeccionar cuidadosamente los dientes; que no haya, excesivo desgaste, de lo contrario cambiarlo ó programarlo para cambio en la siguiente revisión.

Una vez que se acople el equipo, es necesario verificar que tenga libre desplazamiento el carrete, para evitar la rigidez que nos ocasionaría vibración y desgaste.

También es necesario verificar la posición correcta de los tubos de lubricación para que incidan sobre los barrenos de lubricación del copie.

V. Inspección del disparo manual:

Este dispositivo es para un paro de emergencia, por lo tanto es importante que se verifique la actuación instantánea de esta protección al aplicar un ligero golpe con la mano a la perilla ó gatillo sin tener ninguna obturación obstáculo que impida su libre accionar.

VI. Inspección de las protecciones:

Antes de meter en operación una turbina es necesario verificar que las protecciones con que cuenta la maquina estén disponibles para actuar, y se hace un simulacro en cada una de estas llegando a la alarma y el disparo.

VII. Inspección de alineamiento:

Aunque es poco común que un equipo se desalinee (equipos mayores), siempre es conveniente que se verifique el alineamiento entre la turbina y el equipo movido. Estas lecturas se registran en su expediente para compararlos con el alineamiento inicial, normalmente el alineamiento se hace por el método gráfico. Es más común que los equipos menores si haya desalineamiento, por los esfuerzos originados en las tuberías e inclusive por la construcción del equipo que es más pequeño al sufrir dilataciones por la temperatura.

Es conveniente hacer una verificación del alineamiento tanto en frío como en caliente para observar el comportamiento de los ejes en una temperatura con la otra.

VIII. Inspección del disparo por sobre velocidad:

Esta protección es una de las más importantes, ya que de no actuar sería desastroso para una turbina y pondría en riesgo, tanto las instalaciones como la vida personal adyacente. Normalmente el fabricante marca una velocidad de disparo de la maquina pero cuando no se cuenta con esta información se le da un 10% más de la velocidad normal de operación.

El disparo por sobre velocidad se debe efectuar por lo menos dos ocasiones disparando a la misma velocidad.

IX. Inspección del sistema de eyectores:

Complementando el mantenimiento se hace limpieza y verifica las toberas de los eyectores. Además se da mantenimiento y eliminan fugas en las válvulas de estos.

X. Lavado de turbina:

Esta actividad no necesariamente se tiene que hacer cuando la maquina salga a mantenimiento, se puede efectuar en cualquier momento que sea necesario.

XI. Inspección y limpieza a sistema de lubricación:

Todas las máquinas para evitar daños en sus componentes requieren de un sistema de lubricación adecuado a su funcionamiento, esto incluye que debemos considerar puntos importantes como lo son la temperatura y la velocidad entre otros.

Es recomendable que el aceite de una maquina mayor (turbo maquina), se cambie de 4000 a 6000 horas ó cada 6 meses de operación continua. En ocasiones este cambio se realiza cada año pero debe estar acompañado por un muestreo para ver si el lubricante no ha perdido sus ó algunas de sus propiedades ó que esté contaminado con sólidos ó agua, estas muestras son analizadas por el laboratorio, en cuanto esto aparezca hacer de su conocimiento al jefe de la planta que su responsabilidad si la maquina sufre daños mayores por la lubricación defectuosa. Esto se menciona ya que el cambio de aceite depende de muchos factores como: selección correcta del aceite, manipulación de la turbina, carga de trabajo de la turbina, cuidado de la turbina.

Las turbinas de vapor requieren de cuidados especiales en su lubricación desde el tipo de aceite hasta la conservación del mismo en el sistema de circulación de una turbina de vapor directamente conectada es en la mayoría de los casos de muchos litros, por lo tanto el mantenimiento debe ser el adecuado para conservar en buenas condiciones el lubricante.

El sistema de este tipo debe contar con el siguiente equipo auxiliar:

- a) Enfriador de aceite instalado, procurando que los tubos de enfriamiento no sean de cobre porque provoca la oxidación rápida del aceite.
- b) Las ventilas adecuadas en el depósito de aceite a fin de evitar que los condensados nos llenen de herrumbre los depósitos.
- c) Un sistema de filtración que sea efectivo. No deben usarse filtros que contengan arcilla ó tierras ya que estos retienen los aditivos necesarios en el aceite.
- d) La bomba auxiliar debe estar fuera del depósito de aceite, para evitar la introducción de condensados y estos se mezclan con el aceite.

- e) Se debe seleccionar la viscosidad del aceite en base a su velocidad de operación y considerando la temperatura de funcionamiento de la máquina, es conveniente ajustarse a las recomendaciones del fabricante de la turbina.
- f) En el caso de equipos que utilizan gran cantidad de lubricante y que por lo general son las máquinas mayores y más importantes de los procesos es importante colocar ó usar centrifugadoras ó purificadoras de aceite a fin de eliminar los condensados y sólidos en el sistema.

Las características básicas de un buen aceite deben ser las siguientes:

- a) Viscosidad adecuada.
- b) Resistencia de película.
- c) Separación rápida de agua.
- d) Ser antiespumante.
- e) Contener inhibidores de oxidación contra herrumbre.
- f) Contener agregados desactivadores de metales.
- g) Ser seleccionados con básicos de primera calidad.

Los distintos parámetros que mencionamos en la lista anterior deben de venir especificados en la hoja técnica de cada turbina, ya que al no ser todas las turbinas iguales cada una necesitara distintos valores de viscosidad, de resistencia, etc.

XII. Procedimiento para la inspección y limpieza al sistema de lubricación:

- 1) Analizar que el aceite esté libre de sólidos en suspensión.
- 2) Checar los niveles de lubricación (aceite).
- 3) Drenar el depósito, para cambiar lubricante (aceite), recogéndolo en un recipiente para no tirarlo al piso. Después de drenado el aceite limpiar totalmente el Cáster ó consola antes de reponer el lubricante.
- 4) Revisar que no haya fugas por juntas, retenes, etc.
- 5) Revisión de las copas y/o del nivel del aceite de lubricación.
- 6) Verificar que los anillos de lubricación, proporcionen el aceite a los rodamientos, es decir verificar que giren adecuadamente y de forma constante cuando es lubricado por película fluida.
- 7) Revisar que las graseras no estén obstruidas.
- 8) Verificar que exista continuidad desde la entrada hasta la salida del pasaje para la alimentación de grasa al rodamiento del equipo.
- 9) Verificar que cuando se efectuó el engrasado del rodamiento este se realice hasta que la grasa que es expulsada a través de la salida, sea grasa nueva y realizar limpieza total del equipo y del área después de efectuar los trabajos y llevar al lugar indicado ó seleccionado para recolección de los aceites usados a fin de cumplir con las reglas de SSPA.

XIII. Sistema de lubricación forzada:

Se llama así porque el aceite se le fuerza a entrar en las superficies deslizantes del equipo por medio de un sistema de bombeo, el lubricante fluye a través de un filtro, un enfriador, además de contar con una válvula de alivio que regresa al depósito el lubricante que sobra en el sistema y también nos regula la presión, a todo esto se le conoce como sistema de lubricación forzada.

Este sistema es el adecuado para todo equipo crítico que soporta grandes cargas y gran temperatura, pero al contar con más componentes susceptibles de falla debe vigilarse la presión de lubricación y contar con sistemas de protección como alarmas y disparos del equipo.

XIV. Procedimiento para revisión y/o ajuste del sistema de gobierno y del disparo por sobre velocidad de las turbinas de vapor de alta potencia:

- a) Analizar que el aceite de control no contenga agua ó sólidos en suspensión.
- b) Verificar limpieza de filtros de aceite de control.
- c) Inspeccionar manómetros, termómetros, etc. Del sistema de aceite de control.
- d) Inspeccionar rotulas, rodamientos de las palancas del sistema de gobierno y engrasados de las mismas.
- e) Verificar la calibración de los claros del sistema de gobierno, de acuerdo a las especificaciones del fabricante.
- f) Verificar el nivel de aceite del gobernador.
- g) Inspeccionar fugas de aceite en el gobernador.

XV. Procedimiento para revisión y/o ajuste del sistema de gobierno y del disparo por sobre velocidad de las turbinas de vapor de baja potencia:

- a) Analizar que el aceite del gobernador no contenga agua y solido en suspensión.
- b) Verificar el nivel del aceite en el gobernador.
- c) Inspeccionar fugas de aceite en el gobernador.
- d) Sin desconectar el eje terminal del gobernador de la palanca que acciona la válvula de admisión de vapor meter a operar la turbina. Para verifica si el gobernador reacciona a la mínima velocidad de gobierno.
- e) Si no se cumple el procedimiento anterior se llevara a cabo el mantenimiento del gobernador.
- f) Verificar que el vástago de la válvula de admisión de vapor se desplace libremente dentro de la misma.
- g) Inspeccionar que las palancas ó brazos que unen el gobernador con la válvula de gobierno, tenga libre movimiento.
- h) Inspeccionar que en las líneas de control neumático del gobierno, no existan fugas en el caso de que sea de este tipo.
- i) Verificar el disparo por sobre velocidad, operando la turbina de vapor con el gobernador conectado a la válvula de admisión de vapor.

Si no se cumple el procedimiento anterior se deberán realizar los siguientes pasos:

- 1) Ajustar el resorte para aumentar ó disminuir el disparo por sobre velocidad
- 2) Inspeccionar el brío del resorte, peso y superficie de golpeo para identificar desgaste.
- 3) Inspeccionar el desgaste del tope del trinquete que acciona la válvula de corte rápido, así como el claro entre el bulón y el tambor.
- 4) Inspeccionar el resorte y desgaste de los asientos de la válvula piloto, de la válvula de corte rápido.
- 5) Inspeccionar el resorte y el desgaste de los asientos de la válvula de corte rápido.
- 6) Verificar fugas de vapor en el tubo que une la válvula piloto y la válvula de corte rápido.
- 7) Verificar que no pase vapor hacia la turbina cuando se encuentre en posición cerrada.

Criterios para la selección de un rodamiento:

- 1) Carga.- dirección, magnitud y ciclo de trabajo.
- 2) Velocidad.- que tan rápido va a girar, la generación de calor y carga, la velocidad generalmente está limitada por el tipo de jaula.
- 3) Ambiente.
- 4) Lubricación.
- 5) Desalineación.
- 6) Montaje y desmontaje.
- 7) Temperatura.
- 8) Precisión.
- 9) Costo.
- 10) Aplicación.- rodamiento de bola (para cargas ligeras, altas velocidades) y rodamiento de rodillo (para altas cargas, bajas velocidades).

3.2.3.- Mantenimiento correctivo:

Es aquel mantenimiento que corrige los defectos observados en los equipamientos. Es decir, este mantenimiento sustituye la pieza dañada ó en su defecto sustituye todo el equipo. Está de más mencionar que este es el mantenimiento más caro y al que debemos recurrir en último momento.

El mantenimiento general de una turbina involucra una serie de recursos y departamentos de apoyo como son:

- A) Recursos materiales, recursos humanos y herramientas especiales
- B) Departamento de operación, departamento civil, departamento de plantas, departamento eléctrico y el departamento mecánico.

Para efectuar el mantenimiento general es necesaria una junta previa al paro ó antes del inicio de las actividades, con los departamentos de apoyo para elaborar un programa tentativo de tiempos y movimientos. Mantenimiento mecánico presentara un programa previo con sus recursos disponibles y requerimientos. Se elaborará el programa y se define el tiempo que se llevara la maquina en reparación desde que es entregada por operación hasta que es puesta en marcha.

Con el mantenimiento se busca alargar la vida útil del equipo ó de la instalación. El llevar un buen programa de mantenimientos nos traerá beneficios tanto económicos como en operación, ya que busca evitar paros por fallas en el equipo ó la compra de un equipo ó de una parte del equipo en los casos más drásticos. También se deberá de estudiar una ó más propuestas y realizar una tabla acerca de las características y similitudes de las turbinas a comprar.

Cifras en pesos (Mexico)

| % Capacidad utilizada de la turbina | 0% | 80% | 90% | 100% | 100% | 100% |
|-------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Inversión Fija | | | | | | |
| | MEX | | | | | |
| Turbina y generador | 43,498,000.00 | - | - | - | - | - |
| Tuberías y accesorios | 4,349.800 | - | - | - | - | - |
| Cimentación | 4,349.800 | - | - | - | - | - |
| Condensador | 6,708,000.00 | - | - | - | - | - |
| TOTAL | 58,668,345.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Electricidad generada KW/h | | | | | | |
| | | 31,091,200 | 34,977,600 | 38,864,000 | 38,864,000 | 38,864,000 |
| Ingreso | 0.00 | 28,292,992.00 | 31,829,616.00 | 35,366,240.00 | 35,366,240.00 | 35,366,240.00 |
| Gastos de Operación | | | | | | |
| Electricidad | 0.00 | 83,574.40 | 94,021.20 | 104,468.00 | 104,468.00 | 104,468.00 |
| Agua de enfriamiento | 0.00 | 5,441,679.36 | 6,121,889.28 | 6,802,099.20 | 6,802,099.20 | 6,802,099.20 |
| Mantenimiento (4%) | 0.00 | 1,884,979.20 | 2,120,601.60 | 2,356,224.00 | 2,356,224.00 | 2,356,224.00 |
| TOTAL | 0.00 | 7,410,232.96 | 8,336,512.08 | 9,262,791.2 | 9,262,791.2 | 9,262,791.2 |

Tabla 7. Tabla de gastos de operación de las turbinas ellyot, tomando el costo anual de mantenimiento no correctivo que adopta petroquímica Morelos.

Como se puede observar en la tabla 7 que muestra los gastos de operación de las turbinas de vapor ellyot, el complejo petroquímico Morelos toma el 4% del costo total de la inversión fija para su mantenimiento correctivo, mencionando también que el costo va aumentando de acuerdo al porcentaje de capacidad usada de la turbina, si trabaja al 80% el costo del mantenimiento será menor que si trabaja al 100% de su capacidad ya que hay menos desgaste y menos carga de trabajo para la propia turbina. El tomar el 4% del costo total de la turbina para el mantenimiento correctivo lo hacen porque algunas compañías fabricantes no venden paquetes con repuestos recomendados en este caso en la tabla 8 se muestra una cotización de la marca ELLIOT y otra de la marca SIEMENS:

| CONDICIONES | Unidades | COTIZACION ELLIOTT | COTIZACION SIEMENS UNIDS INGLESAS |
|---------------------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------------|
| COSTO DE EQUIPO | Pesos (Mex) | 50,190,000.0 | 27,375,000.0 |
| Partes de Repuesto Recomendadas | | 738,345.0 | |
| Paquete de recuperación de condensado | | 7,740,000.0 | |
| Condensador | | | 4,500,000.0 |
| COSTO TOTAL DEL SISTEMA | Pesos (Mex) | 58,668,345.0 | 31,875,000.0 |

Tabla 8. Cotización ellyot contra cotización de siemens.

En la tabla 8 observamos que la compañía SIEMENS no cuenta con el paquete de partes de repuesto y por lo mismo el complejo Morelos toma el 4% para tener una idea de cuánto costara el mantenimiento correctivo de la turbina. A continuación veremos una serie de actividades sugeridas para darle un mantenimiento correctivo adecuado a nuestras turbinas de vapor, así como también de algunas herramientas y partes para dicha tarea.

RELACIÓN DE PARTES REQUERIDAS PARA POSIBLE REEMPLAZO:

- a) Rotor disponible (armado y balanceado).
- b) Juego de chumaceras radiales.
- c) Juego de chumaceras axiales.
- d) Sellos de carbón.
- e) Sellos de laberinto.

RELACIÓN DE ALGUNAS HERRAMIENTAS Y EQUIPOS REQUERIDO PARA EL DESENSAMBLE Y ENSAMBLE DE LA TURBINA DE VAPOR:

- a) Grúa viajera en buen estado.
- b) Estrobos (2) de 1 "0.
- c) Viga de equilibrio para levantar el rotor.
- d) Cáncamos (4 piezas).
- e) Pistola neumática.
- f) Dados especiales según medidas requeridas.
- g) Llaves de golpe de las mismas medidas.
- h) Bancos soportes de madera para descanso del rotor.
- i) Cajas de madera para depositar las partes internas.
- j) Caja de herramientas normal para operarios especialistas.
- k) Accesorios para montar indicador y verificar alineamiento.
- l) Cable de manila de 1"0.
- m) Aceite linaza.
- n) Compresor.

PERSONAL REQUERIDO PARA EFECTUAR EL MANTENIMIENTO A UNA TURBINA DE VAPOR:

- (2) Operarios especialistas con (2) ayudantes.
- (2) Operarios de primera con (2) ayudantes.

DESARROLLO DE ACTIVIDADES:

Por lo general en el mantenimiento correctivo de las turbinas grandes se requiere de la instalación de un andamio circundante al cuerpo de la turbina para tener la libertad de movimiento del personal que efectúa dicha reparación (si la turbina es pequeña no es necesario el andamio).

Pasos a realizar: Primero se debe retirar el aislamiento térmico por parte de mantenimiento civil, después de eso entra mantenimiento mecánico.

1.- DESENSAMBLE:

- 1) Retirar guardacople y desacoplar el equipo, inspección de acoplamiento y limpieza.
- 2) Retirar sensores de vibración y desplazamiento axial por parte del departamento de instrumentos.
- 3) Retirar tapas de chumaceras radiales, inspeccionar y evaluar.
- 4) Verificar desplazamiento axial del rotor.
- 5) Retirar chumaceras axiales ó baleros, inspeccionar y evaluar.
- 6) Retirar accesorios adyacentes a la tapa de la turbina, desembridar entrada de vapor a la tapa de la turbina (si el caso lo requiere).
- 7) Aplicar solvente a todos los birlos de la tapa de la turbina, para proceder a aflojar tuercas.
- 8) Aflojar tornillería con herramienta neumática.
- 9) Es conveniente que se instalen guías lo suficiente grandes para que la tapa salga sin que pueda dañar el rotor.
- 10) Despegar la tapa con los gatos roscados.
- 11) Estrobar la tapa y tensar con la grúa viajera equilibrando el centro de gravedad.
- 12) Levantar y retirar la tapa, es conveniente que al bajar quede volteada hacia arriba para inspeccionar los alabes y laminillas de sello, se coloca sobre los durmientes.
- 13) Se hace una inspección previa al rotor verificando claros en laberintos y se procede hacer maniobra para levantarlo con la viga de equilibrio por medio de la grúa y se deposita en los bancos soportes acondicionados para este fin.
- 14) Se hace limpieza general al rotor y carcasa, para posteriormente hacer una minuciosa inspección y evaluación de las partes. Alabes, tambor de balance, sello prensa estopa, sellos interpaso, diafragmas ó alabes estacionarios, muñones del rotor, plato de empuje, etc.
- 15) Después de la evaluación se tendrá un panorama definido de las partes que se van a reemplazar y también se podrá dar un veredicto de la falla de la maquina si es que salió por falla mecánica.

2.- ENSAMBLE:

1. Proceder a preparar maniobra para el montaje del rotor, instalando previamente las partes inferiores de las chumaceras radiales.
2. Una vez montado, se vuelven a verificar los claros de los laberintos y se registran para comparar con lo especificado. Normalmente cada fabricante proporciona los claros y ajustes para sus máquinas, estos claros deberán verificarse con lainometro en los sellos prensa estopas, tambor de balance y sellos de interpaso.
3. Girar el rotor para observar que este tenga libertad de giro.
4. Proceder a centrar el rotor, normalmente se toma como referencia en centro de las ranuras del tambor de balance haciendo que coincidan con las laminillas de sello, aunque en ocasiones recomiendan dejar el rotor ligeramente cargado hacia el lado de gobierno, ya que la dilatación que sufre esté con la temperatura ya en operación, tiende a quedar al centro, también deberá tomarse como referencia el claro que deberá existir entre el primer paso de tobera y el primer disco.
5. Una vez centrado se procede a ajustar con las chumaceras axiales sobre el plato de empuje y la caja porta chumaceras, el porta chumaceras tiene placas y laines de ajuste tanto del lado activo como del lado inactivo para hacer el ajuste necesario, posicionando primeramente la chumacera activa contra el plato de ajuste de este lado, enseguida se posiciona la inactiva, respetando el desplazamiento que deba tener el rotor (0.010") se ajusta en este otro lado, se verifica el juego axial y deberá tener lo que marca el fabricante.
6. Se instalan las chumaceras radiales (parte superior) se verifica el claro, se procede a tapar chumaceras.
7. Es conveniente que se gire el rotor de tal manera para verificar el asentamiento uniforme ó carga sobre las chumaceras radiales, esto se observará al destapar la chumacera y verificar el brillo que deja el muñón ó marca sobre el metal base de la chumacera.

8. Montaje de tapa: prepara la maniobra para el montaje de la tapa; de la misma manera que se desmontó se procederá para su instalación, procurando no dañar ni golpear alguna parte. El equilibrio del centro de gravedad es importante ya que de esto depende su correcto ensamble. Normalmente se le pone como sellador al medio cuerpo aceite de linaza recocado.
9. Una vez puesta la tapa se procede a girar el rotor, si no hay algún rozamiento, se procede a colocar tornillería y reapretar, el libraje especificado por el fabricante y en la secuencia indicada.
10. Proceder a embridar la entrada de vapor y colocar los accesorios y líneas adyacentes
11. Colocar instrumentos de vibración y desplazamiento axial.
12. Revisión y limpieza del sistema de gobierno.
13. Revisión y mantenimiento de las válvulas de corte rápido.
14. Empacado del cabezal de válvulas de entrada de vapor.
15. Colocar placa en mamelón de copie para rodar en vacío.
16. Limpieza al condensador de superficie.
17. Mantenimiento preventivo a bombas de condensado.
18. Cambio de aceite y limpieza de consola, cambiar filtros.
19. Correrla turbina en vacío para verificar condiciones y verificar disparo por sobre-velocidad, si no dispara de 200 a 300 RPM arriba de lo especificado parar para hacer al ajuste necesario al mecanismo de disparo hasta que se logre el objetivo.
20. Verificar alineamiento, acoplar y dejar disponible para operar con carga.

3.2.4.- DEL USO DE HERRAMIENTAS:

La Ley Federal del Trabajo en su título cuarto artículo No. 132 capítulo 1 párrafo III menciona:

Artículo 132. Son obligaciones de los patrones:

.....

III .- proporcionar oportunamente a los trabajadores los útiles, instrumentos y materiales necesarios para la ejecución del trabajo, debiendo darlos de buena calidad, en buen estado y reponerlos tan luego como dejen de ser eficientes, siempre que aquellos no se hayan comprometido a usar herramienta propia. El patrón no podrá exigir indemnización alguna por el desgaste natural que sufran los útiles, instrumentos y materiales de trabajo;

Esto se ve reflejado en la norma oficial mexicana NOM-007-STPS-2000 que menciona dentro de las obligaciones del patrón: Proporcionar a los trabajadores la maquinaria, equipo y herramientas necesarias con las características técnicas para el desempeño de sus actividades

Esto se debe aplicar rigurosamente cuando nos encontramos una tarea de mantenimiento de un equipo tan especial como lo es una turbina de vapor ya que también las herramientas deben mantenerse en buenas condiciones de trabajo, las herramientas no deben de ser modificadas ó alteradas, no deben de usarse herramientas desafiladas, agrietadas, rotas ó dañadas.

Se deben de sustituir las herramientas en mal estado por herramientas que estén en buenas condiciones.

Todo trabajador, antes de iniciar su trabajo, debe de cerciorarse de que la herramienta ó máquina que se proporcione este en buenas condiciones y darles el uso y mantenimiento adecuado.

Las herramientas y equipos solo deben ser utilizados por personal calificado para su uso.

No deben forzarse las herramientas ó equipos más allá de su capacidad de diseño, ni alterarse para otro tipo de servicio.

Las herramientas motrices de corte y pulido solo deben operarse con la guarda de protección instalada. Y antes de hacer ajustes ó cambiar disco ó accesorios a una herramienta motriz, sea eléctrica, hidráulica ó neumática, debe de desconectarse para evitar el riesgo de que opere accidentalmente.

Cuando se trabaje en áreas clasificadas eléctricamente ó cerca de líneas vivas de productos inflamables se debe de utilizar herramienta anti-chispa.

Los trabajadores que utilicen oxígeno nunca deben utilizar herramientas sucias conteniendo aceite ó grasa, y su ropa, guates y manos deben de estar libres de aceite y grasa para evitar incendios.

Todas las piezas que se pulan, esmerilen, limen, taladren ó cepillen deben de sujetarse firmemente con prensas ó algún otro equipo de taller que cumpla con la misma función, queda prohibido sujetarlos solo con las manos,

Cuando se golpee con un marro ó martillo sobre un cincel, punzón ó número de golpe, debe de sostenerse con tenaza, no con la mano.

Deben de cuidarse que los cinceles, punzones, etc.; no tengan la cabeza despostillada, para evitar que al golpearlos desprendan rebaba.

Nunca deben de usarse gatos hidráulicos descompuestos, los gatos deben de quedar bloqueados por debajo para evitar que se inclinen ó resbalen. Por arriba no deben ser apoyados directamente sobre el metal, debe de colocarse un bloque de madera para evitar que resbalen.

3.2.5. USO DEL EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL:

El uso de equipo de protección personal básico (EPP) es obligatorio al ingresar a las instalaciones, el uso de EPP necesario para ingresar a las áreas de proceso está señalado por letreros en los límites de estas. Sin embargo para cada trabajo existe un equipo de protección personal a utilizar, este se establece en el permiso de trabajo que se emite antes de llevar a cabo la tarea y en el AST (Análisis de Seguridad en el Trabajo) que acompaña a cada permiso.

Para determinar cuál es el EPP adecuado para realizar alguna actividad, es necesario tener el conocimiento de los riesgos a los que estamos expuestos: características de materiales peligrosos que se van a manejar, tiempo de exposición, altas temperaturas, posibilidad de descargas eléctricas, caídas, resbalones, atmosferas peligrosas, golpes en la cabeza, posibles lesiones en los ojos por rebabas ó salpicaduras, manejo de objetos punzo cortantes, superficies calientes ó filosas, quemaduras por salpicaduras, superficies calientes ó extremadamente frías, golpes en los pies, ruidos y vibraciones excesivos, sobre esfuerzo por levantar objetos pesados, riesgos potenciales como llamas ó explosiones, condiciones climatológicas.

Así también la ley es estricta en ese sentido, mencionando algunas normas oficiales mexicanas (NOM) y algunas normas de referencia (NRF) por las cuales se rige Pemex y sus organismos subsidiarios. A continuación mencionaremos algunas de ellas y citaremos textualmente lo que marcan.

La NOM-017-STPS-2008 describe al equipo de protección personal (EPP) como: Conjunto de elementos y dispositivos, diseñados específicamente para proteger al trabajador contra accidentes y enfermedades que pudieran ser causados por agentes ó factores generados con motivo de sus actividades de trabajo y de la atención de emergencias. En caso de que en el análisis de riesgo se establezca la necesidad de utilizar ropa de trabajo con características de protección, ésta será considerada equipo de protección personal.

Y a su vez dentro de las obligaciones del patrón marcan:

5.4 Proporcionar a los trabajadores equipo de protección personal que cumpla con las siguientes condiciones:

- a) Que atenúe la exposición del trabajador con los agentes de riesgo;
- b) Que en su caso, sea de uso personal;
- c) Que esté acorde a las características físicas de los trabajadores, y
- d) Que cuente con las indicaciones, las instrucciones ó los procedimientos del fabricante para su uso, revisión, reposición, limpieza, limitaciones, mantenimiento, resguardo y disposición final.

Y Pemex en sus normas de referencia: NRF-006-PEMEX-2011, NRF-007-PEMEX-2008, NRF-024-PEMEX-2010, NRF-056-PEMEX-2006, NRF-057-PEMEX-2006, NRF-058-PEMEX-2006, por mencionar algunas, hacen referencia al uso de equipo de protección personal que deberán de usar los trabajadores de Pemex y organismos subsidiarios.

Ahora veremos el EPP que deberá de utilizar el personal al momento de hacer uso de este manual.

PROTECCIÓN EN LAS MANOS.- Regularmente se utilizan guantes de carnaza en la mayoría de la mayoría de los trabajos (conexión/desconexión de líneas y equipos, movimiento de tambores, contenedores etc.) sin embargo si se van a ejecutar trabajos en equipos/líneas que se encuentren a una temperatura mayor a 55°C se requieren guantes para protección térmica, existen áreas que requieren protección especial tal es el caso del área de hornos, donde hay que entrar con un traje completo de asbesto.

PROTECCIÓN AUDITIVA.- En las áreas de polimerización, splitter, aditivación y extrusión es obligatorio el uso de tapones auditivos, esto es debido a que el ruido en dichas áreas puede sobrepasar los 85 db (decibeles).

PROTECCIÓN EN LA CABEZA.- El uso del casco es obligatorio en cualquier trabajo todo el tiempo.

PROTECCIÓN EN LOS OJOS.- El uso de lentes de seguridad es obligatorio todo el tiempo en todas las áreas, sin embargo existen trabajos en que se requiere una protección adicional tales como: lentes para soldador, careta facial, etc.

PROTECCIÓN DE LOS PIES.- Las lesiones más frecuentes en los pies son por golpes de caídas de objetos sobre ellos, heridas punzocortantes y aunque no es una lesión directa en el pie también podemos sufrir resbalones. El uso de zapato de seguridad con casquillo, suela dura y anti-derrapante nos protege de estos riesgos, el uso de este equipo también es obligatorio todo el tiempo en todas las áreas de la planta.

PROTECCIÓN DE VÍAS RESPIRATORIAS.- Es muy importante utilizar la mascarilla adecuada, tenemos dos tipos de mascarillas: las que tienen elementos filtrantes y que su uso es en atmósferas donde existe buena concentración de oxígeno y su función es limpiar de polvos ó gases el aire que vamos a inhalar. Las mascarillas con suministros de aire ó equipo de respiración autónomo se utilizan en atmósferas en donde la concentración de oxígeno puede ser menor a 19.5% y en todos los trabajos en espacios confinados. Antes de realizar cualquier trabajo es obligatorio el revisar cual es el EPP necesario a utilizar y hacer uso de él.

CAPÍTULO IV
ANALISIS FINANCIERO DEL
MANTENIMIENTO A LA TURBINA DE
VAPOR ELLYOT DYRPG

4.1.- BENEFICIOS ESPERADOS:

Para llevar a cabo el análisis financiero de tal forma que se observe la integración de los costos del mantenimiento predictivo y preventivo para las turbinas de vapor del complejo Morelos, es necesario establecer una clasificación de beneficios, para así poder tener claramente una idea de que tipos de beneficios y cuáles de ellos se verán reflejados en un término financiero.

a) BENEFICIOS TANGIBLES: Son aquellos que pueden estimarse como una disminución de algún concepto, y que de acuerdo a un desarrollo ó metodología puede cuantificarse:

- 1) Ahorro de costos de mantenimiento por paro de equipo.
- 2) Ahorro de costos de adquisición por equipo obsoleto.
- 3) Optimización de la calidad del vapor.
- 4) Ahorro en gastos por sustitución de piezas de la turbina.
- 5) Conocemos el estado de la máquina en todo instante.
- 6) Eliminamos prácticamente todas las averías.
- 7) Solo paramos ó intervenimos en la máquina cuando realmente es necesario.
- 8) Conocemos el daño en los componentes desde una fase inicial del mismo, permitiéndonos programar su sustitución en el momento más conveniente.
- 9) Al intervenir en la máquina conocemos el problema, reduciendo el tiempo de la reparación.
- 10) Podemos identificar los fallos ocultos, así como la causa de fallos crónicos.
- 11) Reducimos las piezas del almacén, adquiriéndolas cuando detectamos el problema en una fase primaria.
- 12) Conseguimos bonificaciones en primas de seguros.
- 13) Incrementamos la seguridad de la planta.

b) BENEFICIOS INTANGIBLES: Son aquellos que están inherentes al mantenimiento de las turbinas de vapor pero su cuantía depende de apreciaciones subjetivas que no pueden cuantificarse:

- 1) Incremento de seguridad de las instalaciones.
- 2) Disminución del deterioro ecológico.
- 3) Optimización de las operaciones.
- 4) Programación adecuada del mantenimiento predictivo y preventivo.
- 5) Optimización de actividades del personal.
- 6) Información oportuna y en tiempo real para la toma de decisiones.
- 7) Permitir elevar el nivel de competitividad de la empresa así como de elevar su expectativa de excelencia.
- 8) Mejoramiento de imagen de las instalaciones.
- 9) Confiabilidad, los equipos operan en mejores condiciones de seguridad, ya que se conoce su estado, y sus condiciones de funcionamiento.
- 10) Disminución del tiempo muerto, tiempo de parada de equipos/máquinas.
- 11) Mayor duración, de los equipos e instalaciones.
- 12) Disminución de existencias en Almacén y, por lo tanto sus costos, puesto que se ajustan los repuestos de mayor y menor consumo.
- 13) Uniformidad en la carga de trabajo para el personal de Mantenimiento debido a una programación de actividades.
- 14) Menor costo de las reparaciones.

4.2.- COSTOS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MANTENIMIENTO:

Ahora calcularemos los costos de los distintos tipos de mantenimientos dentro del complejo petroquímico Morelos a turbinas de vapor también debemos de mencionar que las realizan los mismos trabajadores de Pemex y no aceptan la contratación de compañías. Una vez realizados los cálculos y cuando tengamos un costo real de cada uno de los mantenimientos procederemos a calcularlos por “X” periodo de tiempo para saber así cuanto se gasta y se ahorra el complejo Morelos en darles mantenimiento a sus equipos. Esto también nos ayudara a observar cual grande es la diferencia en costos entre los tres tipos de mantenimientos y obviamente cual sería el que le conviene más a la empresa al momento de planear su operación.

4.2.1.- MANTENIMIENTO PREDICTIVO:

Calcularemos el costo del mantenimiento predictivo para una sola jornada y ya más adelante calcularemos por los años de vida útil de nuestro equipo.

Para poder calcular un costo en mano de obra, primero tendríamos que saber cuánto gana el personal. En la tabla 9 se muestran los salarios tabulados de los trabajadores del complejo petroquímico Morelos.

| CATEGORIA | SALARIO TABULADO |
|-----------------------------------|------------------|
| OPERARIO DE PRIMERA | \$ 172.52/HR |
| AYUDANTE DE OPERARIO DE PRIMERA | \$ 114.08/HR |
| OPERARIO ESPECIALISTA | \$ 184.9/HR |
| AYUDANTE DE OPERARIO ESPECIALISTA | \$ 122.34/HR |

Tabla 9. Salario tabulado de los trabajadores del complejo Morelos.

4.2.1.1 Mantenimiento predictivo diario:

Una vez ya teniendo esto procederemos a calcular el costo de la mano de obra del mantenimiento predictivo diario, en este mantenimiento predictivo no utilizaremos consumibles, ya que se limita a observar y a checar el buen funcionamiento de la turbina de vapor por eso es que tomaremos en cuenta que este mantenimiento lo lleve a cabo el operario especialista porque es el trabajador con más experiencia ó mejor preparado dentro de nuestra planta y a el cual le llevara según nuestro calculo 1 hora diaria. Esta operación se muestra en la tabla 10.

| CATEGORIA | No. DE TRABAJADORES | HORAS EN REALIZAR EL TRABAJO | TOTAL (pesos) |
|-----------------------|---------------------|------------------------------|---------------|
| OPERARIO ESPECIALISTA | 1 | 1 | \$184.90 |

Tabla 10. Costo de mano de obra del mantenimiento predictivo diario.

Una vez que tenemos el costo de la mano de obra del mantenimiento predictivo diario lo multiplicaremos por 365 días para sacar el costo de un año y después de eso lo multiplicaremos por 20 años ya que la norma NRF-213-PEMEX-2011 "TURBINAS DE VAPOR PARA SERVICIO GENERAL" de Pemex marca la vida útil de la turbina por 20 años. Este cálculo se muestra en la tabla 11.

| COSTO DIARIO | DIAS | COSTO ANUAL (pesos) |
|--------------|------|---------------------|
| \$184.90 | 365 | \$67,488.50 |

| COSTO ANUAL | AÑOS | COSTO TOTAL (pesos) |
|-------------|------|---------------------|
| \$67,488.50 | 20 | \$1,349,770.00 |

Tabla 11. Costo total de la mano de obra del mantenimiento predictivo diario.

A este mantenimiento no se le agregara ningún cargo por material ya que se refiere más a tomar lecturas y verificar el estado del equipo. El costo total del mantenimiento diario durante 20 años de la vida de la turbina de vapor seria \$1,349,770.00.

4.2.1.2 Mantenimiento predictivo semanal:

Ahora calcularemos el mantenimiento semanal, este lo llevara a cabo entre el operario especialista y un ayudante de operario especialista ya que las actividades que comprende deben de hacerlas entre 2 personas, también debemos sumarle el mantenimiento diario ya que los mantenimientos descritos en este manual se complementan entre sí. Esto quedaría mostrado en la tabla 12.

| CATEGORIA | No. DE TRABAJADORES | HORAS EN REALIZAR EL TRABAJO | SALARIO TABULADO | TOTAL (pesos) |
|---|---------------------|------------------------------|------------------|-----------------|
| OPERARIO ESPECIALISTA | 1 | 2 | \$184.90 | \$369.80 |
| AYUDANTE DE OPERARIO ESPECIALISTA | 1 | 2 | \$122.34 | \$244.68 |
| COSTO DEL MANTENIMIENTO SEMANAL: | | | | \$614.48 |
| SUMAMOS EL COSTO DE UN MANTENIMIENTO DIARIO: | | | | \$184.90 |
| TOTAL DEL COSTO DEL MANTENIMIENTO SEMANAL: | | | | \$799.38 |

Tabla 12. Costo de mano de obra del mantenimiento predictivo semanal.

En la tabla 12 se muestra el cálculo del mantenimiento predictivo semanal y a este le agregamos el costo del mantenimiento diario ya que son 2 mantenimientos que comprenden actividades distintas, pero que se complementan entre sí, y como observación mencionaremos que no tomaremos en cuenta consumibles ni refacciones ya que al tratarse de mantenimiento predictivo aún no se necesita cambiar alguna pieza ni se requiere destapar la turbina.

Una vez que tenemos el costo de 1 mantenimiento semanal indicado en la tabla 10, procederemos a calcularlo por 1 año, para después calcularlo por los 20 años de la vida útil de la turbina, esto se muestra en la tabla 13:

| COSTO SEMANAL | SEMANAS (1 AÑO) | COSTO ANUAL (pesos) |
|----------------------|----------------------------|--------------------------------|
| \$799.38 | 52 | \$41,567.76 |

| COSTO ANUAL | AÑOS | COSTO TOTAL (pesos) |
|--------------------|-------------|--------------------------------|
| \$41,567.76 | 20 | \$831,355.20 |

Tabla 13. Cálculo del costo anual y durante toda la vida útil de la turbina.

La empresa gastara un total de \$831,355.20 pesos durante los 20 años de vida útil de la turbina de vapor en el mantenimiento semanal.

4.2.1.3 Mantenimiento predictivo mensual:

Ahora procederemos a calcular la mano de obra del mantenimiento predictivo mensual, en este agregaremos valor para algunos consumibles como el plastigage y el azul de Prusia alguno para consumibles que ocuparemos, como se muestra en la tabla 14 primero calcularemos la mano de obra del mantenimiento predictivo mensual y de ahí le sumaremos la mano de obra del semanal y del diario. Quedando la tabla 14 como se muestra a continuación:

| CATEGORIA | No. DE TRABAJADORES | HORAS EN REALIZAR EL TRABAJO | SALARIO TABULADO | TOTAL (\$) |
|--|---------------------|------------------------------|------------------|------------|
| OPERARIO ESPECIALISTA | 1 | 16 | \$184.90 | \$2,958.40 |
| AYUDANTE DE OPERARIO ESPECIALISTA | 1 | 16 | \$122.34 | \$1,957.44 |
| PLASTIGAGE PARA CHECAR LA CHUMACERAS | | | | \$600.00 |
| AZUL DE PRUSIA PARA CHECAR ALINEACION DEL ROTOR Y POSIBLES FRACTURAS O DESGASTES EN EL MISMO | | | | \$700.00 |
| COSTO DE LA MANO DE OBRA DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO MENSUAL: | | | | \$6,215.84 |
| SUMAMOS EL COSTO DE LA MANO DE OBRA DEL MANTENIMIENTO SEMANAL (x3): | | | | \$2,398.14 |
| TOTAL DEL COSTO DE LA MANO DE OBRA DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO MENSUAL: | | | | \$8,613.98 |

Tabla 14. Calculo del mantenimiento predictivo mensual.

En la tabla 14 observamos el desglose del cálculo de la mano de obra del mantenimiento predictivo mensual, cabe aclarar que se le suma el costo de 3 mantenimientos semanales, ya que este incluye un mantenimiento diario, y al complementarse entre sí; al darle mantenimiento mensual también se le estaría dando mantenimiento semanal y mantenimiento diario. También observamos que si se eleva en gran parte en comparación con el mantenimiento diario y el semanal, esto es debido a que en el mensual se checa partes más críticas de la turbina y aquí si ocuparemos dos consumibles para checar de manera correcta a las chumaceras y al rotor. La ventaja de este mantenimiento es que es la antesala del mantenimiento preventivo pero si no existe ninguna falla en algunos de los 3 mantenimientos mencionados anteriormente el mantenimiento preventivo se puede posponer, ahorrando así un capital valioso a la empresa. Calculando el costo anual del mantenimiento mensual y tomando en cuenta la vida útil de la turbina de vapor quedaría como se muestra en la tabla 15:

| COSTO MENSUAL | MESES | COSTO ANUAL (pesos) |
|----------------------|--------------|----------------------------|
| \$8,613.98 | 12 | \$103,367.76 |

| COSTO ANUAL | AÑOS | COSTO TOTAL (pesos) |
|---------------------|-------------|----------------------------|
| \$103,367.76 | 20 | \$2,067,355.20 |

Tabla 15. Calculo del costo mensual total del mantenimiento.

Dando un total de \$2,067,355.20 pesos que costara el mantenimiento mensual de una turbina de vapor durante toda los 20 años de vida útil.

A continuación en la tabla 16 se muestra los costos totales de los mantenimientos predictivo diario, predictivo semanal y predictivo mensual durante distintos periodos de tiempo.

| | COSTO TOTAL (1 AÑO) | COSTO TOTAL (5 AÑOS) | COSTO TOTAL (10 AÑOS) | COSTO TOTAL (15 AÑOS) | COSTO TOTAL (20 AÑOS) |
|---------|------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| DIARIO | \$67,488.50 | \$337,442.50 | \$674,885.00 | \$1,012,327.50 | \$1,349,770.00 |
| SEMANAL | \$41,567.76 | \$207,838.80 | \$415,677.60 | \$623,516.40 | \$831,355.20 |
| MENSUAL | \$103,367.76 | \$516,838.80 | \$1,033,677.60 | \$1,550,516.40 | \$2,067,355.20 |
| TOTAL | \$212,424.02 | \$1,062,120.10 | \$2,124,240.20 | \$3,186,360.30 | \$4,248,480.40 |

TABLA 16. Comparación de los distintos mantenimientos en distintos periodos de tiempo.

Una vez que ya tenemos los costos del mantenimiento predictivo en sus tres etapas, pasaremos a calcular el del mantenimiento preventivo y más adelante el del correctivo para así poder tener un análisis real de los costos de todo el mantenimiento que deberemos de realizar a nuestra turbina de vapor.

4.2.2.- MANTENIMIENTO PREVENTIVO:

Este es el mantenimiento es el más tardado ya que comprende muchas más actividades que el predictivo y por lo consiguiente se verá reflejado en el costo. Tomaremos en cuenta como duración de las actividades 5 días, en jornadas de 8 horas de 2 operarios especialistas y sus ayudantes. En la tabla 17 mostramos los consumibles que ocuparemos así como su precio para armar un total de costo en consumibles para después agregarlo a los costos mas adelante.

| MATERIAL | PRECIO (\$)/UNIDAD |
|----------------------|--------------------|
| Grasa | \$319/100 GR |
| Lija para metal | \$125/M2 |
| Aflojatodo | \$50/300 ML |
| Solvente | \$75/ 100 ML |
| Aceite lubricante | \$350/LT |
| Plastigage | \$600 / 1 PRUEBA |
| Pasta azul de prusia | \$700 / 39 gr |
| TOTAL (pesos) | \$2,229.00 |

Tabla 17. Precio de materiales a ocupar durante un solo mantenimiento preventivo.

| CATEGORIA | No. DE TRABAJADORES | HORAS EN REALIZAR EL TRABAJO | SALARIO TABULADO | TOTAL (pesos) |
|---|---------------------|------------------------------|------------------|--------------------|
| OPERARIO ESPECIALISTA | 2 | 40 | 184.9 | \$14,792.00 |
| AYUDANTE DE OPERARIO ESPECIALISTA | 2 | 40 | 122.34 | \$9,787.20 |
| COSTO DE LA MANO DE OBRA DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO | | | | \$24,579.20 |
| AUMENTAMOS LOS MATERIALES A OCUPAR PARA EL MANTENIMIENTO | | | | \$2,229.00 |
| TOTAL DEL COSTO DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO | | | | \$26,808.20 |

Tabla 18. Calculo del costo de la mano de obra del mantenimiento preventivo.

Como se indica en la tabla 18 el costo de la mano de obra del mantenimiento preventivo cuesta \$24,579.20 pesos. A esto le sumaremos el costo de los consumibles que detallamos en la tabla 17, haciendo mención especial a que estos consumibles solo son durante la aplicación de un mantenimiento preventivo.

Una vez teniendo el costo total, procederemos a calcular el costo del mantenimiento preventivo aplicándolo 2 veces al año, el resultado se muestra en la tabla 19:

| COSTO | VECES AL AÑO | TOTAL |
|-------------|--------------|-------------|
| \$26,808.20 | 2 | \$53,616.40 |

Tabla 19. Costo total del mantenimiento preventivo, aplicándolo 2 veces por año.

En la tabla 20 multiplicaremos por 20 años para así sacar el costo total durante toda la vida útil de la turbina.

| COSTO | AÑOS | TOTAL |
|--------------------|-------------|-----------------------|
| \$53,616.40 | 20 | \$1,072,328.00 |

Tabla 20. Calculo del costo del mantenimiento preventivo durante toda la vida útil de la turbina.

El costo total de darle 2 mantenimientos preventivos al año a una sola turbina de vapor durante toda su vida útil sería de \$1, 072,328.00 pesos.

4.2.3. MANTENIMIENTO CORRECTIVO:

Como pudimos observar en el capítulo 3, para fines prácticos y para cálculo de gasto anual los fabricantes de turbinas de vapor manejan el costo del mantenimiento en un 4% del costo total del equipo, y en casos como la compañía ELLYOT, manejan un kit de repuestos para la turbina y otro para el condensador como se muestra en la tabla 21.

| CONDICIONES | Unidades | COTIZACION ELLIOTT |
|---------------------------------------|--------------------|------------------------|
| COSTO DE EQUIPO | Pesos (Mex) | \$50,190,000.00 |
| Partes de Repuesto Recomendadas | | \$738,345.00 |
| Paquete de recuperación de condensado | | \$7,740,000.00 |
| COSTO TOTAL DEL SISTEMA | Pesos (Mex) | \$58,668,345.00 |

Tabla 21. Se muestra la cotización y se nota como el fabricante ellyot vende el kit de repuesto recomendado.

Como vemos en la tabla 21 el costo de las partes de repuesto recomendadas el paquete de recuperación de condensado nos da un total de \$8,478,345.00 pesos para tener las piezas que recomienda el fabricante para un posible mantenimiento correctivo.

A esto le sumamos la mano de obra que la contemplaremos en 10 días con jornadas de 8 horas como se muestra en la tabla 22, tomando en cuenta que ya ira incluido el tiempo de pruebas, desensamble, ensamble y puesta a andar.

| CATEGORIA | No. DE TRABAJADORES | HORAS EN REALIZAR EL TRABAJO | SALARIO TABULADO | TOTAL (pesos) |
|---|---------------------|------------------------------|------------------|---------------|
| OPERARIO ESPECIALISTA | 2 | 80 | \$184.90 | \$29,584.00 |
| AYUDANTE DE OPERARIO ESPECIALISTA | 2 | 80 | \$122.34 | \$19,574.40 |
| COSTO DEL MANTENIMIENTO CORRECTIVO | | | | \$49,158.40 |

Tabla 22. Calculo de la mano de obra del mantenimiento correctivo.

Ahora le agregaremos el costo de las partes de repuesto recomendadas y del paquete de recuperación de condensado que se muestran en la tabla 21 y el costo total del aplicar un mantenimiento correctivo nos quedara como se muestra en la tabla 23 la cual se muestra a continuación:

| COSTO TOTAL DE LA MANO DE OBRA UN MANTENIMIENTO CORRECTIVO (pesos) | PARTES DE REPUESTO RECOMENDADO | PAQUETE DE RECUPERACION DE CONDENSADO | COSTO TOTAL DE APLICAR UN MANTENIMIENTO CORRECTIVO |
|--|--------------------------------|---------------------------------------|--|
| \$49,158.40 | \$738,345.00 | \$7,740,000.00 | \$8,527,503.40 |

Tabla 23. Calculo del costo total en pesos de aplicar un mantenimiento correctivo.

Observamos que el costo total de aplicar un mantenimiento correctivo si se daña un equipo al año asciende a \$8,527,503.40 pesos lo que sí es un valor exagerado, ó en su defecto comprar la turbina de vapor nueva tiene un costo de \$ 58,668,345.00 pesos. Como se aprecia en la tabla no. 7.

Para finalizar en la tabla 24 compararemos los distintos tipos de mantenimiento durante toda la vida útil de la turbina de vapor.

| TIPO DE MANTTO. | COSTO POR AÑO (pesos) | VIDA UTIL DE LA TURBINA | TOTAL (pesos) |
|------------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------|
| DIARIO | \$67,488.50 | 20.00 | \$1,349,770.00 |
| SEMANAL | \$41,567.76 | 20.00 | \$831,355.20 |
| MENSUAL | \$103,367.76 | 20.00 | \$2,067,355.20 |
| PREVENTIVO (2 VECES POR AÑO) | \$53,616.40 | 20.00 | \$1,072,328.00 |
| CORRECTIVO | \$7,397,057.40 | 20.00 | \$147,941,148.00 |

Tabla 24. Tabla comparativa de gastos totales de los distintos tipos de mantenimiento.

Observamos en la tabla 24 que el mantenimiento más barato es el semanal, y que de ahí están muy parejos los diarios, mensuales y preventivos, aunque sea engañoso al escuchar la frecuencia con la que se deben de aplicar.

También queda comprobado de manera contundente que el mantenimiento correctivo es, y seguirá siendo el mantenimiento más caro y por consiguiente deberá de ser nuestra última opción al momento de planear una tarea de mantenimiento. Este manual presentara como propuesta de mantenimiento aplicar el mantenimiento semanal, mensual y el preventivo 1 vez por año para cada turbina quedando el gasto como se muestra en la tabla 25.

| SEMANAL POR UN AÑO | MENSUAL | PREVENTIVO 1 VEZ POR AÑO | COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO POR AÑO (pesos) |
|--------------------|--------------|--------------------------|--|
| \$41,567.76 | \$103,367.76 | \$26,808.20 | \$171,743.72 |

Tabla 25. Calculo del costo de nuestra propuesta de mantenimiento en pesos.

Ahora en la tabla 26 compararemos la cantidad inicial que adoptan petroquímica Morelos según la tabla 7 para el mantenimiento no correctivo y la de nuestra propuesta de mantenimiento de la tabla 25.

| 4% QUE ADOPTA PETROQUIMICA MORELOS | PROPUESTA DE MANTENIMIENTO DE ESTA INVESTIGACION | DIFERENCIA |
|---|---|-----------------------|
| \$2,356,224.00 | \$171,743.72 | \$2,184,480.28 |

Tabla 26. Diferencia entre la propuesta de mantenimiento actual y la de esta investigación.

Se puede observar un ahorro de \$2,184,480.28 pesos lo que ayuda a mejorar las ganancias de la empresa, o también nos serviría para comprar más equipos o tecnologías más eficientes para nuestro proceso, o simplemente para aumentar la plantilla. Serviría para mejorar las herramientas y así optimizar más el mantenimiento descrito ya que como comprobamos en el tema anterior las consecuencias en algunos casos suelen ser muy costosas.

4.3.- LAS CONSECUENCIAS DE NO INVERTIR EN LOS MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS Y PREDICTIVOS A LAS TURBINAS DE VAPOR SON:

Así como en toda actividad de nuestra planta, en el mantenimiento también generaremos consecuencias por no llevar a cabo las labores de mantenimiento. En algunos puntos las consecuencias podrían ser fatales, tanto humanamente como económica y operativamente. Es decir que un solo fallo en una turbina de vapor que alimente el generador eléctrico que abastece a la sección de instrumentación en los quemadores, nos dejara sin lecturas en tiempo real de la temperatura de los quemadores, es decir, pareciera una falla menor el no darle mantenimiento pero al omitirse éste conlleva a consecuencias mayores como una reacción en cadena. Y esto se vuelve importante ya que como antes vimos en algunas plantas ocupan las turbinas de vapor como respaldo de su fuente principal de energía, así que solo es cuestión de imaginar las consecuencias que tendrían al fallar su único respaldo. A continuación veremos una pequeña lista de algunas consecuencias de omitir el mantenimiento preventivo y predictivo:

- Daños ecológicos por fugas de vapor y/o aceite.
- Pérdidas humanas y accidentes incapacitantes.
- Mayor gasto al aplicar el mantenimiento correctivo.
- Riesgos al entorno de trabajo ya que una explosión de turbinas daña cimientos, y estructuras de la planta.
- Nunca sabremos a ciencia cierta el tipo de mantenimiento adecuado para cada turbina de nuestra planta.
- Pérdida de eficiencia de nuestras máquinas de vapor, así como de las máquinas a las alimentan nuestras turbinas.
- Pérdida de horas/hombre para detectar las fallas desde 0.
- No saber realmente en qué estado se encuentran nuestras turbinas y la pérdida de planeación que esto conlleva.
- Paros de planta no programados para darle mantenimiento correctivo.

CONCLUSIÓN

Actualmente el mantenimiento que realizan muchas industrias en la práctica se basa en la tradición y en reglas a manera de experiencia. Esta práctica está lejos de ser una buena opción para la empresa ya que no integran la seguridad ni el factor económico que aquí mencionamos. En este trabajo demostramos de manera clara y concisa que al momento de aplicar este manual reducimos notablemente el valor del mantenimiento correctivo así como también nuestro conocimiento acerca de las turbinas de vapor. Como observamos a lo largo de esta investigación, el mantenimiento en cualquiera de sus tipos debería de representar una inversión y no un gasto que es como lo ven la mayoría de las empresas hoy en día. Nosotros obtuvimos un ahorro de \$2,184,480.28 pesos al año. Este capital se podría ocupar para comprar más ó mejor equipo, para contratar más personal calificado, para comprar mejores herramientas para así mejorar el trabajo y los procesos de mantenimiento ó simplemente para poder agrandar nuestra planta y mejorar nuestras instalaciones. Comprobamos también que el mantenimiento correctivo resulta excesivamente caro y que debemos evitarlo llevando al pie de la letra los otros tipos de mantenimiento propuesto. Todo lo anterior nos ayudara a tomar una mejor decisión al momento de decidir las labores de mantenimiento y los momentos en los que se tendrá que dar mantenimiento a nuestra turbina de vapor, así como también saber con cuanto capital tendremos que contar para iniciar con nuestras labores de mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. "El Petróleo en México. Experiencias y Expectativas."
Ángeles Luis
Ed. Caballito. 1984.
2. "El Plan de Mantenimiento Programado"
García Garrido Santiago.
Ed. Renovetec 2010.
3. Guía Práctica para la Tecnología de las Turbinas de Vapor
Heinz p. Bloch
Mcgraw-hill/interamericana editores, s.a. de c.v.
4. Manual de Mantenimiento a Turbinas de Vapor
Instituto Mexicano del Petróleo
Dirección de Capacitación
5. Petróleos Mexicanos, Comité de Normalización de
Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios,
Nrf-213-pemex-2011 "Turbinas de Vapor para Servicio General"
6. "Principios de Operaciones Unitarias",
Foust, Alan s.
Compañía editorial Continental s.a de c.v., México, 1987.

Comentario [L3]: Investigar acerca de esto también

GLOSARIO

A

Aleaciones: *Una aleación es una combinación, de propiedades metálicas, que está compuesta de dos ó más elementos, de los cuales, al menos uno es un metal.*

C

Calidad: *Conjunto de propiedades inherentes a una cosa que permite caracterizarla y valorarla con respecto a las restantes de su especie.*

Complejo: *Conjunto de edificios ó instalaciones agrupados en función de una actividad común.*

E

Eficiencia: *Uso racional de los medios para alcanzar un objetivo predeterminado (es decir, cumplir un objetivo con el mínimo de recursos disponibles y tiempo).*

Energía cinética: *Se define como el trabajo necesario para acelerar un cuerpo de una masa determinada desde el reposo hasta la velocidad indicada.*

Energía térmica: *La energía térmica ó calorífica es la parte de energía interna de un sistema termodinámico en equilibrio que es proporcional a su temperatura absoluta y se incrementa ó disminuye por transferencia de energía, generalmente en forma de calor ó trabajo,*

Etano: *Gas incoloro, inodoro e insoluble en agua que se encuentra en estado natural en el gas del petróleo ó disuelto en el mismo ó se obtiene por hidrogenación del etileno.*

F

Forjar: *Trabajar un metal y darle una forma definida cuando está caliente por medio de golpes ó por presión.*

I

Inspección: *“Es una técnica de evaluación formal en la cual un grupo de personas examinan en detalle requerimientos, con el objetivo de detectar fallas, desviaciones a los estándares de desarrollo y otros problemas...”*

J

Juego axial: *Del eje ó relacionado con él, es decir que se mueve sobre su propio eje.*

Juego radial: *Que parte del centro hacia fuera como los radios de una circunferencia. Que se mueve hacia adelante y hacia atrás.*

L

Lubricantes: *Sustancia que, colocada entre dos piezas móviles, no se degrada, y forma asimismo una película que impide su contacto, permitiendo su movimiento incluso a elevadas temperaturas y presiones.*

M

Mantenimiento: *Conservación de una cosa en buen estado ó en una situación determinada para evitar su degradación.*

Metano: *Gas incoloro, inodoro y muy inflamable, más ligero que el aire, que en la naturaleza se produce por la descomposición de la materia orgánica, especialmente en los pantanos, y se desprende del gas del petróleo, del gas de las turberas, del grisú de las minas de carbón, etc.; se emplea como combustible y para producir cloruro de hidrógeno, amoníaco, acetileno y formaldehído.*

P

Periferia: *Zona inmediata al exterior de un espacio.*

Pernos: *Pieza metálica larga de sección constante cilíndrica, normalmente hecha de acero ó hierro. Está relacionada con el tornillo pero tiene un extremo de cabeza redonda, una parte lisa, y otro extremo roscado para la chaveta, tuerca, ó remache, y se usa para sujetar piezas en una estructura, por lo general de gran volumen.*

Petroquímico: *Que utiliza el petróleo ó el gas natural como materias primas para la obtención de productos químicos*

Propileno: *Polímero termoplástico, parcialmente cristalino, que se obtiene de la polimerización del propileno (o propeno). Pertenece al grupo de las poliolefinas y es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen empaques para alimentos, tejidos, equipo de laboratorio, componentes automotrices y películas transparentes.*

R

Revoluciones: *Unidad de frecuencia que se usa también para expresar velocidad angular. En este contexto, se indica el número de rotaciones completadas cada minuto por un cuerpo que gira alrededor de un eje.*

T

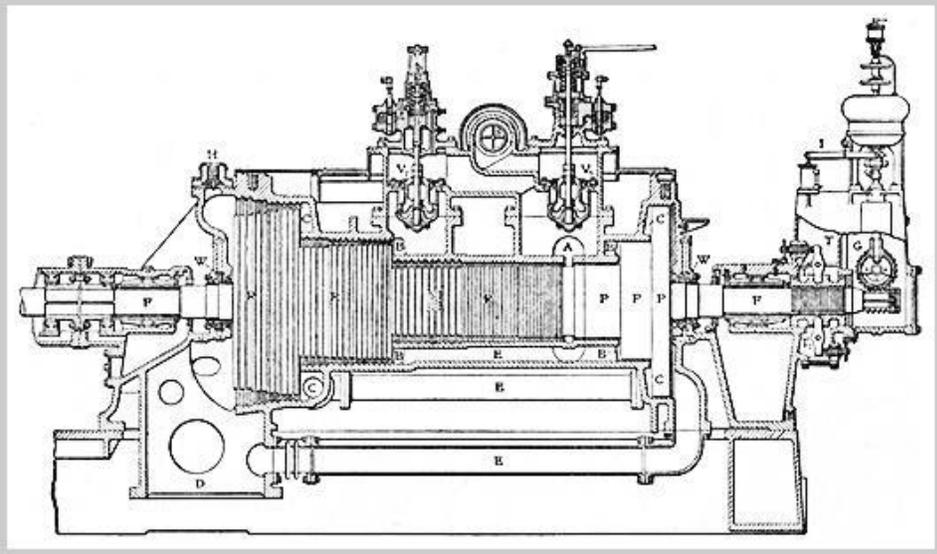
Turbina: *Máquina que consiste en una rueda en el interior de un tambor provista de paletas curvas sobre las cuales actúa la presión de un fluido haciendo que esta gire.*

V

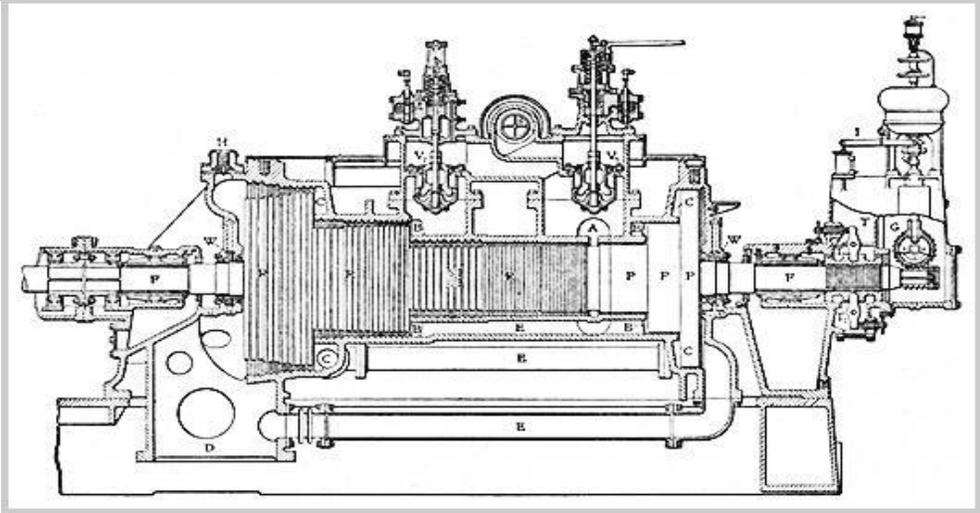
Vapor: *Fase gaseosa en que se transforma una sustancia, generalmente líquida, y que se produce en temperaturas próximas al punto de ebullición ó licuefacción.*

Viscosidad: *La viscosidad es una característica de los fluidos en movimiento, que muestra una tendencia de oposición hacia su flujo ante la aplicación de una fuerza. Cuanta más resistencia oponen los líquidos a fluir, más viscosidad poseen.*

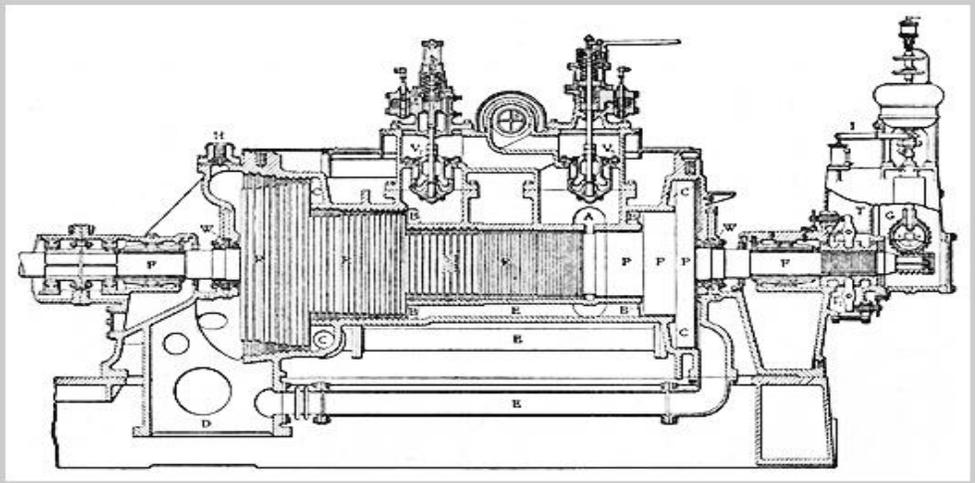
ANEXOS

| MANTENIMIENTO DIARIO | | |
|---|-------|------------|
| FECHA: | AREA: | COMPLEJO: |
| OPERARIO: | | EQUIPO: |
| ACTIVIDADES | | AUTORIZO: |
| TEMPERATURA DE LAS CHUMACERAS | | |
| PRESION DE ACEITE | | |
| SI EXISTEN FUGAS DE VAPOR O DE ACEITE MARQUELAS EN EL SIGUIENTE DIBUJO POR FAVOR. | | |
|  | | |
| EJECUTOR | | SUPERVISOR |
| FIRMA | | FIRMA |
| NOMBRE: | | NOMBRE: |

Anexo 1. Propuesta de formato de mantenimiento diario.

| MANTENIMIENTO SEMANAL | | |
|---|-------|-------------|
| FECHA: | AREA: | COMPLEJO: |
| OPERARIO: | | EQUIPO: |
| ACTIVIDADES | | AUTORIZO: |
| TOMAR MUESTRA DE ACEITE PARA CHECAR SU VISCOSIDAD Y HUMEDAD | | |
| VERIFICAR VIBRACION | | |
| PROBAR DISPARO POR SOBREVOLOCIDAD | | |
| SI EXISTEN FUGAS DE VAPOR O DE ACEITE MARQUELAS EN EL SIGUIENTE DIBUJO POR FAVOR. | | |
|  | | |
| EJECUTOR | | SUPERVISOR |
| FIRMA _____ | | FIRMA _____ |
| NOMBRE: | | NOMBRE: |

Anexo 2. Propuesta de formato de mantenimiento semanal.

| MANTENIMIENTO MENSUAL | | |
|---|-------|-------------|
| FECHA: | AREA: | COMPLEJO: |
| OPERARIO: | | EQUIPO: |
| ACTIVIDADES | | AUTORIZO: |
| CHECAR LA TOLERANCIA DE CHUMACERAS | | |
| CHECAR ALINEACION DE ROTOR | | |
| PROBAR DISPOSITIVO DE SOBRE VELOCIDAD | | |
| CHECAR CON ESTETOSCOPIO EL ESTADO DE LOS RODAMIENTOS DE LA BOMBA AUXILIAR DE ACEITE | | |
| SI EXISTEN FUGAS DE VAPOR O DE ACEITE MARQUELAS EN EL SIGUIENTE DIBUJO POR FAVOR. | | |
|  | | |
| EJECUTOR | | SUPERVISOR |
| FIRMA _____ | | FIRMA _____ |
| NOMBRE: | | NOMBRE: |

Anexo 3. Tabla de formato de mantenimiento mensual.