



**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN - REY BALDUINO DE BÉLGICA**

**PLAN DE MANTENIMIENTO TURBINA A VAPOR DE ALTA
PRESIÓN**

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Técnico Universitario en
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.

Alumno:
Pedro Alejandro Villalonga Venturelli.

Profesor Guía:
Sr. Wilfried Maser Lockenvitz.

RESUMEN.

Turbina, es un vocablo que deriva del latín “turbo”, “turbīnis” que quiere decir “remolino”. Una turbina es una máquina motriz de flujo constante, que da origen a un trabajo mecánico por medio de un sistema de paletas curvas a las cuales se les denomina alabes, y estas utilizan la energía térmica, cinética o de presión de fluidos.

En otras palabras las turbinas en un sentido general son mecanismos o aparatos de fluido, que mediante ellas atraviesa, de manera continua, un fluido, manifestando así su energía a través de un sistema de alabes.

Este es un motor rotativo que transforma en energía mecánica, aquella energía emanada de una corriente de gas, agua o vapor de agua, en la actualidad dentro del campo industrial podemos decir que encontramos una gama amplia de turbinas de acuerdo al requerimiento de operación del proceso en donde sea implementado y con ende estas cumplen una función esencial dentro del proceso productivo lo que nos indica que está catalogado como un equipo crítico.








































INDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS GENERALES	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	3
DESCRIPCIÓN.	4
1. Rotor.....	4
2. Carcasa.	4
3. Los Álabes.....	5
4. Válvula de regulación.	6
5. Cojinetes de apoyo o radiales.....	6
6. Cojinete de empuje o axial.	6
7. Sistema de lubricación.	7
8. Sistema de sellado de vapor.	8
9. Virador o giro lento.....	8
10. Sistema de drenajes y trampas del vapor condensado.	8
NORMATIVA APLICABLE.	9
PLANOS	9
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	9
□ General.....	9
PLANOS DE SEGURIDAD.....	9
□ Elementos de protección en caso de sobrecarga.	9
PLANES DE EMERGENCIA.	10
PRUEBAS Y EQUIPAMIENTO.....	10
PRINCIPALES FALLAS/PROBLEMAS Y TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO.	10
FALLOS/PROBLEMAS GRAVES	10
DETECCIÓN DE FALLOS/PROBLEMAS A PARTIR DE LAS VIBRACIONES.....	11
TRABAJOS DE MANTENIMIENTO PARA ESTE TIPO DE INSTALACIONES	17
MANTENIMIENTO PREVENTIVO – DESCRIPCIÓN	21
DETALLE DE INSPECCIONES, REVISIÓN PARCIAL Y GENERAL.....	24
PIEZAS DE REPOSICIÓN.	26

PROGRAMACIÓN DE LOS TRABAJOS.....	26
PLAN DE MANTENIMIENTO	34
ASPECTOS AMBIENTALES RELATIVOS AL MANTENIMIENTO.....	34
LISTA DE REPUESTO RECOMENDADAS.....	36
PLANOS DE DISEÑO	37
.....	39
CONCLUSIONES	38

SIMBOLOGÍA.

SIMBOLOGIA DE INSTRUMENTACION -- NORMA ISA

SIMBOLOS EN DIAGRAMAS DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION		TEMPERATURA:						
 VALVULA DE GLOBO	 DISCO DE RUPTURA PARA ALIVO DE PRESION	 MEDIDOR DE TEMPERATURA CONEXION CON TERMOPOZA						
 VALVULA DE COMPUERTA	 DISCO DE RUPTURA PARA ALIVO DE VACIO	 PUNTO DE MEDICION DE TEMPERATURA						
 VALVULA DE ANGULO	ELEMENTOS PRIMARIOS							
 VALVULA DE MARIPOSA	FLUJO:  ORIFICIO DE RESTRICCION FIJO	 ELEMENTO DE TEMPERATURA SIN THERMOWELL.(ELEMENTO NO CONECTADO A UN INSTRUM.SECUNDARIO)						
 VALVULA DE BOLA	 PLACA DE ORIFICIO	 INDICADOR DE TEMPERATURA LOCAL						
 VALVULA CHECK	 PLACA DE ORIFICIO DE CAMBIO RAPIDO	 ELEMENTO DE TEMPERATURA CON TERMOPOZA						
 VALVULA DE AGUJA	 ELEMENTO DE FLUJO TIPO VENTURI	ELEMENTOS MISCELANEOS:  LUZ INDICADORA						
 VALVULA DE TRES VIAS	 ELEMENTO DE FLUJO TIPO PITOT	 DETECTOR DE FUEGO ULTRAVIOLETA						
 VALVULA DE CONTROL CON ACTUADOR DE DIAFRAGMA	 MEDIDOR DE CAUDAL TIPO TURGINA	 CORNETA PARA ALARMA						
 VALVULA DE CONTROL CON ACTUADOR DE DIAFRAGMA y VOLANTE MANUAL	 MEDIDOR DE CAUDAL TIPO VORTEX	 CONTINUACION EN PLANO INDICADO						
 VALVULA DE CONTROL CON ACTUADOR MANUAL	 MEDIDOR DE CAUDAL TIPO SONICO	 LLEGADA DE PLANO INDICADO						
 VALVULA DE CONTROL CON ACTUADOR DE DIAFRAGMA y POSICIONADOR	 MEDIDOR DE CAUDAL TIPO ROTAMETRO	SIMBOLOS PARA RELES						
 VALVULA AUTOMATCA CON ACTUADOR DE PISTON y MUELLE DE RETORNO	 ENDEREZADOR DE FLUJO	 SUMAR-RESTAR-TOTALIZAR						
 VALVULA AUTOMATCA CON ACTUADOR DE PISTON DE DOBLE ACCION		 RESTAR						
 VALVULA AUTOMATCA CON ACTUADOR ELECTROHIDRAULICO		<table border="0"> <tr> <td data-bbox="1161 1781 1193 1831">+</td> <td rowspan="4" style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="4" style="vertical-align: middle;">POLARIZACION</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1161 1831 1193 1881">-</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1161 1881 1193 1931">+</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1161 1931 1193 1981">E</td> </tr> </table>	+	}	POLARIZACION	-	+	E
+	}	POLARIZACION						
-								
+								
E								

INTRODUCCIÓN

Las turbinas de vapor tienen una historia muy larga, tan larga que la primera turbina de vapor de la que se tiene constancia fue construida por Herón de Alejandría alrededor del año 175 A.C.

Si profundizamos más en el ámbito industrial encontramos, que en los últimos años, la gran totalidad de las empresas están optando al autoabastecimiento energético, debido a su elevada demanda que involucra los diferentes procesos industriales, a su alto costo por concepto de consumo de energía eléctrica en procesos productivos para aquellas empresa no son autogeneradora.

Por ende cabe mencionar que el 68.88% de la energía eléctrica a nivel nacional es proporcionada por centrales térmicas, lo que nos indica que son equipos que gran importancia en la actualidad.

En el presente trabajo de título se han estudiado los requerimientos de mantenimiento de una turbina de vapor, tomando como referencia una turbina de la marca Siemens de contra presión controlada de fabricación brasileña y se ha analizado la normativa referente a estos equipamientos, para proponer un plan de mantenimiento que cumpla la preceptiva y que se adapte al plan de aplicación actual de cada empresa.

OBJETIVOS GENERALES

El objetivo por el que me he decidido a hacer este proyecto, ha sido para adquirir conocimientos sobre el mantenimiento de las turbinas de vapor. Equipos de alto costo y con un nivel de criticidad bastante elevado dentro de un proceso productivo.

Hoy en día la mayoría de las empresas se encuentran autoabasteciéndose energéticamente y se estima que en los próximos años, la incorporación de estos equipos sea mayor.

En la actualidad dentro de la industria, encontramos turbinas de vapor conectadas a un generador para producir la electricidad, esta turbina es esencial en la producción de energía eléctrica y su mantenimiento fundamental, por ello es necesario orientar, instruir y capacitar al personal, para que pueda analizar y detectar futuras anomalías y así minimizar los tiempos de detención en futuras de fallas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Lograr un óptimo funcionamiento de una turbina de vapor, conociendo las partes de una la turbina y con ellos, qué tipos de mantenimientos se realizan para asegurar las óptimas condiciones operacionales.

Al igual que sucede en otras máquinas térmicas, detrás de cada avería grave suele haber una negligencia de operación o de mantenimiento, ya que las turbinas suelen ser equipos diseñados de alta confiabilidad.

Obtener los conocimientos y saber identificar los principales problemas que pueden presentarse en una turbina de vapor, por ende, saber analizar por parte de mantenimiento y operaciones las diferentes anomalías que se pueden presentar como.

- Alto nivel de vibraciones.
- Desplazamiento excesivo del rotor por mal estado del cojinete de empuje o axial.
- Fallos diversos en la instrumentación.
- Vibración en reductor o alternador.
- Fuga de vapor.
- Funcionamiento incorrecto de la válvula de control.
- Dificultad o imposibilidad de la sincronización.
- Bloqueo del rotor por curvatura del eje.

DESCRIPCIÓN.

A continuación se describen las partes de una turbina de vapor, la cual, a partir del vapor suministrado por la caldera, transforma la energía térmica en mecánica, y de forma que vaya pasando por las diferentes etapas, el vapor va perdiendo energía y aumentando su volumen específico, de tal forma que en las últimas etapas, la turbina tendrá un mayor tamaño para poder aprovechar mejor la expansión del vapor hasta que llegará un momento que ese vapor final será liberado como vapor de escape (contrapresión). Según la potencia de la turbina y según el emplazamiento de la instalación, la turbina podrá ser de condensación o extracciones de vapor.

La turbina que tomamos de referencia para llevar a cabo este programa, es una turbina de procedencia Brasileña de la marca Siemens Modelo SST-300 Admisión: 60,5 bar (a) 450°C; Extracción: 26 bar (a) 344°C; Sandrúa: 12,1 bar (a) 268°C; Contrapresión: - 5,1 bar (a) 187°C.

ROTACIÓN: 7500 rpm POTENCIA: 12.100 kW ROTACIÓN DE TRIP: 8250 rpm.

1. Rotor.

El rotor de una turbina es de acero fundido con ciertas cantidades de níquel o cromo para darle tenacidad y es de diámetro aproximadamente uniforme. Normalmente las ruedas donde se colocan los alabes se acoplan en caliente al rotor. También se pueden fabricar haciéndolos de una sola pieza forjada, maquinando las ranuras necesarias para colocar los alabes. Los álabes móviles serán los que darán el movimiento giratorio al rotor o eje a través del paso del vapor por sus diferentes etapas. Al final, el eje será conectado mediante bridas o un acoplamiento flexible al equipo o elemento a dirigir con su movimiento giratorio.

2. Carcasa.

La carcasa o estator se divide en dos partes: la parte inferior, unida a la bancada y la parte superior, desmontable para el acceso al rotor. Ambas contienen las coronas fijas de toberas o alabes fijos. Las carcasas se realizan de hierro, acero o de aleaciones de este, dependiendo de la temperatura de trabajo, obviamente las partes de la carcasa de la parte de alta presión son de materiales más resistentes que en la parte del escape. La humedad máxima debe ser de un 10% para las últimas etapas.

Normalmente se encuentra recubierta por una manta aislante que disminuye la radiación de calor al exterior, evitando que el vapor se enfríe y pierda energía disminuyendo el rendimiento de la turbina. Esta manta aislante suele estar recubierta de una tela impermeable que evita su degradación y permite desmontarla con mayor facilidad.

3. Los Álaves.

Se realizan de aceros inoxidable, aleaciones de cromo - hierro, con las curvaturas de diseño según los ángulos de salida de vapor y las velocidades necesarias. Las últimas etapas son críticas por, la posibilidad de existencia de partículas de agua que erosionarían los alaves. Por ello se fija una cinta de metal satélite soldando con soldadura de plata en el borde de ataque de cada alabe para retardar la erosión.

Los alaves fijos y móviles se colocan en ranuras alrededor del rotor y carcasa. Los alaves se pueden asegurar solos o en grupos, fijándolos en su posición por medio de ranuras en el rotor.

La raíz del álabe puede tener forma de abeto, ranura en forma de T, abeto en forma semicircular. También se pueden asegurar mediante pasadores, en forma perno, o mediante remaches. Los extremos de los alaves se fijan en un anillo donde se remachan, y los más largos a menudo se amarran entre sí con alambres o barras en uno o dos lugares intermedios, para darles mayor rigidez.

Las diferentes etapas de una turbina están comprendidas por hileras de álaves fijos y móviles.

La función de los álaves fijos es: dirigir el flujo de vapor con el ángulo y velocidad adecuados hasta los álaves móviles para aprovechar de una forma más eficiente la energía del vapor.

En cambio, los álaves móviles se encargan de convertir la masa de vapor dirigida por los álaves fijos en velocidad rotacional y momento torsor.

Los álaves tienen diferentes formas, todo ello depende si hablamos de álaves de impulso o acción (el nombre de estos álaves viene a partir de las turbinas de acción que operan sólo con este tipo de álaves, normalmente usadas para el accionamiento de turbobombas u otras máquinas).

Este tipo de álaves se caracterizan por la gran velocidad de entrada del vapor y que giran en la misma dirección que el vapor. Al pasar de una corona a otra tienen una pequeña pérdida de presión y el vapor va perdiendo velocidad.

Por otra parte tenemos los álaves de reacción (toman el nombre de las turbinas de reacción, pero para aprovechar mejor el rendimiento del vapor, se combinan las turbinas de acción y las turbinas de reacción en una misma turbina pero en diferentes etapas, es por eso que pasan a llamarse álaves de acción y álaves de reacción).

Los álabes de reacción se caracterizan por la gran velocidad que entra el vapor, no obstante, no es tan alta como los de acción. En este caso el perfil del álabe permite que el fluido se expanda a través del álabe, con lo que, al salir habrá disminuido la presión y la velocidad. Acto seguido pasará por la siguiente corona de álabes fijos para aumentar de nuevo su velocidad y entrar en otra corona de álabes móviles y así sucesivamente hasta la última etapa de la turbina. Tienen forma de gota en el borde de ataque con grosor gradual hasta el borde de salida.

4. Válvula de regulación.

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

Estas válvulas nos proporcionarán la habilidad de poder arrancar y parar en condiciones normales y de emergencia. Tienen que ser capaces de parar el suministro de vapor de una forma rápida y fiable. Y tienen que funcionar de forma correcta para evitar fugas o para evitar sobrecargas que podrían dañar la turbina.

5. Cojinetes de apoyo o radiales.

Sobre ellos gira el rotor, suelen ser de un material blando, y recubiertos de una capa lubricante que disminuya la fricción. Son elementos de desgaste, que deben ser sustituidos periódicamente, viene con una frecuencia establecida si su coste es bajo respecto de su producción, o bien por observación de su superficie y cambio cuando se encuentren en un estado deficiente.

6. Cojinete de empuje o axial.

El cojinete axial, o de empuje impide el desplazamiento del rotor en la dirección del eje, Evitando el empuje axial que sufre el rotor por el efecto de la entrada del vapor. El cojinete está construido en un material blando y recubierto por una capa de material que disminuya la fricción entre el disco y el cojinete. Además, debe encontrarse adecuadamente lubricado.

Para comprobar el estado de ese cojinete, además de la medida de la temperatura y de las vibraciones del rotor, se mide de forma constante el desplazamiento axial. Si se excede el límite permitido, el sistema de control provoca la parada de la turbina o impide que esta complete su puesta en marcha.

7. Sistema de lubricación.

Proporciona el fluido lubricante, generalmente aceite de forma constante para asegurar la circulación del aceite control y en todo momento manteniendo refrigerado, lubricado los cojinetes y sistema suele estar equipado con tres bombas:

7.1 Bomba mecánica principal.

Esta acoplada al eje de la turbina, de forma que siempre que este girando la turbina está girando la bomba, asegurándose así la presión de bombeo mejor que con una bomba eléctrica. No obstante, en los arranques esta bomba no da presión suficiente, por lo que es necesario que el equipo tenga al menos una bomba adicional.

7.2 Bomba auxiliar.

Se utiliza exclusivamente en los arranques, y sirve para asegurar la correcta presión de aceite hasta que la bomba mecánica puede realizar este servicio. Se conecta antes del arranque de la turbina y se desconecta a unas revoluciones determinadas durante el arranque, cambiándose automáticamente de la bomba auxiliar a la bomba principal. También se conecta durante las paradas de la turbina.

7.3 Bomba de emergencia.

Si se produce un problema de suministro eléctrico en la planta, esta queda sin tensión, durante la parada habría un momento en que la turbina se quedaría sin lubricación, ya que la bomba auxiliar no tendría tensión. Para evitar este problema, las turbinas suelen ir equipadas con una bomba de emergencia que funciona con corriente continua proveniente de un sistema de baterías.

7.4 Sistema de extracción de vahos.

El depósito de aceite suele estar a presión inferior a la atmosférica para facilitar la extracción de vapores de aceite y dificultar una posible fuga de aceite al exterior. Para conseguir este vacío, el sistema de lubricación suele ir equipado con un extractor.

7.5 Sistema de refrigeración de aceite.

El aceite en su recorrido de lubricación aumenta su temperatura modificando su viscosidad, y por tanto, sus características lubricantes, llegando a degradarse si el calor es excesivo. Para evitarlo, el sistema de lubricación dispone de unos intercambiadores que enfrían el aceite, estos intercambiadores pueden ser aire-aceite, de forma que el calor del aceite se evacua a la atmósfera, o agua-aceite, de forma que el calor se transfiere al circuito cerrado de refrigeración con agua de la planta.

7.6 Sistema de aceite de control.

Cuando la válvula de regulación se acciona óleo hidráulicamente el conjunto de turbina va equipado con un grupo de presión para el circuito de aceite de control. Este, debe mantener la presión normalmente entre los 12 y los 14 bar de presión hidráulica. El sistema de control gobierna la válvula de salida del grupo, que hace llegar al aceite hasta la válvula de regulación de entrada de vapor con la presión adecuada.

8. Sistema de sellado de vapor.

Las turbinas de vapor están equipadas con sellos de carbón o bronce, que se ajustan al eje, y/o con laberintos de vapor. Con esto se consigue evitar que el vapor salga a la atmósfera y disminuyan la eficiencia térmica de la turbina.

9. Virador o giro lento.

El sistema virador consiste en un motor eléctrico o hidráulico que hace girar lentamente la turbina cuando no está en funcionamiento. Esto evita que el rotor se curve, debido a su propio peso o por expansión térmica, en parada. La velocidad de este sistema es muy baja (varios minutos para completar un giro completo de turbina), pero se vuelve esencial para asegurar la correcta rectitud del rotor. Si por alguna razón este sistema se detiene (avería del rotor, avería de la turbina, inspección interna con desmontaje) es necesario asegurar que, antes de arrancar, estará girando varias horas con el sistema virador.

10. Sistema de drenajes y trampas del vapor condensado.

Se utiliza para el drenaje del vapor condensado cuando se está arrancando la turbina antes de funcionar en plena carga, en este caso, el vapor condensado que haya podido quedarse después de la parada en válvulas, puntos bajos o venteos, podría dañar la turbina. Por esta razón nos interesa que este sistema trabaje en buenas condiciones ya que nos podría llegar a dar problemas tan graves como es el pandeo del rotor.

NORMATIVA APLICABLE.

A continuación se resumen las partes de la normativa que a mi entender inciden de un modo más decisivo en el tipo de turbina y sobre el que atiende el proyecto.

PLANOS

Los siguientes planos están sometidos a consideraciones, junto con las particularidades de los materiales, máximas potencias en el eje y revoluciones por minuto. Las presiones y temperaturas se aplican a la potencia máxima en el rotor y bajo condiciones de emergencia que están indicadas en los siguientes planos.

- Plano General
- Montaje de Secciones
- Rotores y Acoplamientos
- Carcasas

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

- **General.**

En el diseño y en los planos de la maquinaria de la turbina, tiene que hacerse una adecuada disposición para la expansión relativa de las diferentes partes de la turbina, y se hay que tener una atención especial para minimizar las deformaciones en condiciones de operación.

Los cojinetes de la turbina están dispuestos y apoyados para que la lubricación no se vea afectada por el flujo de calor de las partes calientes, contiguas de la turbina. Se tiene que proveer de una forma efectiva para interceptar fugas de aceite y prevenir que éstas no hagan alcanzar altas temperaturas en sectores críticos, carcasas y tuberías de vapor.

PLANOS DE SEGURIDAD.

- **Elementos de protección en caso de sobrecarga.**

La turbina deberá disponer de elementos de protección en caso de sobrevelocidad, para el paro en automático del suministro de vapor y advertir que la velocidad máxima de diseño no sea sobrepasada más de un 10 % de su nominal de trabajo.

- **Reguladores de velocidad.**

Cuando la instalación de la turbina incorpora un inversor, transmisión eléctrica o hélice reversible, además de un regulador de velocidad independientes o en combinación, se montará un elemento de protección en caso de sobrecarga, y debe ser capaz de controlar la velocidad de la turbina sin carga, sin tener que utilizar el elemento de protección en caso de sobrecarga.

PLANES DE EMERGENCIA.

- **Fallo de Lubricación.**

Los planes estarán preparados para que el vapor de admisión en cuanto la turbinas este en servicio sea cortado automáticamente en caso de fallo de presión en la lubricación.

PRUEBAS Y EQUIPAMIENTO.

- **Balanceo.**

Todos los rotores cuando estén con todos los álabes montados serán dinámicamente balanceados con la acreditación de un inspector, con una máquina con la precisión adecuada para el tamaño del rotor.

PRINCIPALES FALLAS/PROBLEMAS Y TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO.

Igual que sucede en otras máquinas térmicas, detrás de cada avería grave suele haber una abandono operacional o de mantenimiento, ya que las turbinas suelen ser equipos diseñados, en la actualidad con una gama amplia de parámetros medibles, lo cual nos alude a que los responsables de controlar esos parámetros deben tener las competencias técnicas para diagnosticar anomalías operacionales.

FALLOS/PROBLEMAS GRAVES

Alto nivel de vibraciones

- Análisis de vibraciones, es posible evaluar los defectos más habituales como: desalineación, desbalanceo, holguras mecánicas, problemas en el aceite, etc.

Desplazamiento excesivo del rotor por mal estado del cojinete de empuje o axial.

- Análisis de parámetros de operacionales.

Fallos diversos de la instrumentación

- Es necesario verificar la calibración de toda la instrumentación periódicamente.

Vibración en reductor o generador

- Puede ser debido a holguras en los cojinetes, se deberán analizar los parámetros de operacionales, montaje y buscar posibles anomalías.

Fugas de vapor

- Inspección termográfica.

Funcionamiento incorrecto de la válvula de control

- Análisis de parámetros de operacionales.

Dificultad o imposibilidad de la regulación de la velocidad

- Análisis de parámetros de operacionales.

Bloqueo del rotor por curvatura del eje

- Análisis de parámetros de funcionamiento, posible mal funcionamiento del giro lento al parar la turbina en caliente.

DETECCIÓN DE FALLOS/PROBLEMAS A PARTIR DE LAS VIBRACIONES.

La vibración en una turbina de vapor no es un desperfecto en sí misma, sino un indicio de un problema que existe en la máquina y que puede derivar en graves consecuencias. Por esta razón, las turbinas de vapor están especialmente protegidas para detectar un alto nivel de vibraciones y provocar la detención antes de que lleguen a producirse graves daños.

La vibración tiene diversas causas, por lo cuándo se presenta, es necesario estudiar cuál de ellas está provocando el fenómeno, para, por supuesto, corregirlo. La vibración se hace especialmente evidente durante el proceso de arranque, ya que durante este periodo se atraviesan una o varias velocidades críticas de la turbina, velocidades en las que la vibración, por resonancia molecular, se ve notablemente amplificada.

Es un error muy habitual no estudiar y corregir el problema que está provocando ese anormal alto nivel de vibraciones y limitarse a tomar alguna medida puntual que facilite el arranque; los daños que pueden producirse pueden llegar a ser muy severos. Normalmente, detrás de una avería grave de turbina suele estar una negligencia grave de operación y/o mantenimiento.

- **Mal estado de los sensores de vibración o de las tarjetas acondicionadoras de señal:** Es posible que lo que estemos considerando como una vibración sea en realidad una falsa señal, que tenga como origen el mal funcionamiento del sensor encargado de detectarlo. Cuando se produce un disparo por altas vibraciones es conveniente estudiar detenidamente la gráfica de vibraciones del sensor que ha provocado el disparo.

Una indicación del mal estado de un sensor suele ser que el aumento de vibración no se produce de forma gradual, sino que en la gráfica se refleja un aumento momentáneo muy alto de la vibración. Mecánicamente es muy difícil que este fenómeno se produzca (el aumento instantáneo del nivel de vibración), por lo que si esto se observa, probablemente sea debido a una señal errónea provocada por el mal estado del sensor o por la influencia de un elemento externo que está provocando una alteración en la medición.

- **Desalineación entre turbina y reductor:** Es la causa de al menos el 20% de los casos de altos niveles de vibración en turbina. A pesar de que el acoplamiento es elástico y en teoría soporta cierta desalineación, casi todos los fabricantes de acoplamientos elásticos recomiendan alinear éste como si fuera un acoplamiento rígido. Es importante respetar las tolerancias indicadas por los fabricantes, tanto horizontales como verticales, con el reductor.

También hay que tener en cuenta que la alineación en caliente y en frío puede variar. Por ello, es necesario realizar una alineación inicial en frío, preferentemente con un alineador láser (por su precisión), y realizar después una alineación en caliente para ver la variación. Si en esta segunda es necesario corregir algo, es conveniente anotar la desalineación que es necesario dejar en frío (en el eje horizontal y/o en el eje vertical) por si en el futuro hay que realizar un desmontaje y es necesario repetir estas alineaciones.

- **Mal estado del acoplamiento elástico entre turbina y reductor:** Es conveniente realizar una inspección visual periódica del acoplamiento (al menos una vez al año) y vigilar sobre todo la evolución de las vibraciones.
- **Problema en la lubricación de los cojinetes:** hace que el aceite de lubricación no llegue correctamente (en caudal o en presión) a dichos cojinetes. Hay que diferenciar los problemas relacionados con caudal y presión con los problemas relacionados con la calidad del aceite. En referencia a los primeros, la

- obstrucción de los conductos por los que circula el aceite, el mal estado de los filtros y una avería en las bombas de lubricación, recordemos que una turbina suele llevar varias bombas mecánicas cuya fuerza motriz la proporciona el propio eje de la turbina; una bomba de pre-lubricación, eléctrica, para arranques; y una bomba de emergencia, que se pone en marcha ante un fallo eléctrico.

Al ser la cantidad de aceite insuficiente, la posición del eje y el cojinete varían de forma cíclica, dando lugar a la vibración. En casos más graves, el eje y el cojinete se tocan sin película lubricante, que provoca una degradación del rotor de forma bastante rápida.

- **Mala calidad del aceite:** El aceite lubricante, con el tiempo, pierde algunas de sus propiedades por degradación de sus aditivos y se contamina con partículas metálicas y con agua. La presencia de agua, de espumas, la variabilidad de la viscosidad con la temperatura, el cambio de viscosidad en un aceite degradado suelen ser las causas que están detrás de una vibración provocada por la mala calidad del aceite. De ellas, es la presencia de agua la más habitual, por lo que el análisis periódico del aceite, el purgado de agua y la reparación de la causa que hace que el agua entre en el circuito de lubricación son las mejores medidas preventivas.
- **Mal estado del rotor en la zona de los cojinetes:** Si una turbina ha estado funcionando con el aceite en mal estado, o con una lubricación deficiente, es posible que sus cojinetes estén en mal estado, pero también es posible que hayan terminado por afectar al rotor. Si uno y otro rozan en algún momento, es posible que este último presente roces o marcas que provocarán vibraciones y pueden dañar el nuevo cojinete. En caso de detectarse daños en el rotor, es necesario repararlos, con un lijado, un rectificado in-situ o en taller, aporte de material, etc.

La mejor forma de prevenir este daño es análisis periódico de la calidad del aceite, su sustitución en caso necesario, el adecuado mantenimiento del sistema de lubricación, y la sustitución del cojinete cuando se detecta que la holgura supera los límites indicados por el fabricante o cuando una inspección visual de éste así lo aconseja.

- **Desequilibrio del rotor por suciedad o incrustaciones en álabes:** El desequilibrio es la causa más habitual de vibraciones en máquinas rotativas,

- representando aproximadamente un 40% de los casos de vibración. Un tratamiento químico inadecuado del agua de caldera y del vapor que impulsa la turbina termina dañando no solo ésta, sino también el ciclo agua-vapor y la propia caldera.

El tratamiento químico del agua de caldera es tan importante como el control del aceite de lubricación, sin estos dos puntos perfectamente resueltos es imposible mantener de forma adecuada una instalación equipada con una turbina de vapor. El primer problema que se manifestará por un tratamiento químico inadecuado será la presencia de partículas extrañas depositadas en los álabes de la turbina. Como esta deposición no se hará nunca por igual en todos los elementos rotativos, el rotor presentará un desequilibrio que se traducirá en alto nivel de vibraciones.

Las incrustaciones en los álabes de la turbina pueden estar provocadas por niveles inadecuados de carbonatos, sílice, hierro, sodio u otros metales. Para eliminarlas, será necesaria una limpieza de los álabes, que en ocasiones severas puede significar un chorreado de éste. A continuación a la limpieza, será necesario realizar un balanceo dinámico de la turbina.

- **Curvatura del rotor debido a una parada en caliente con el sistema giro lento detenido:** Las turbinas de vapor están equipadas con un sistema giro lento que facilita que el eje no se curve cuando está caliente. La misión de este sistema es redistribuir los pesos uniformemente sobre el rotor en rotación, y evitar curvaturas que desequilibrarían el rotor. Si la turbina se para en caliente y el sistema giro lento no entra en marcha es posible que el rotor se curve.

El problema se detecta siempre al intentar arrancar, y comprobar que el nivel de vibración es más alto de lo permitido. Si es así, la solución más adecuada es mantener la turbina girando sin carga y a una velocidad inferior a la nominal durante varias horas.

Transcurrido ese tiempo, si ésta es la causa del problema, la vibración habrá desaparecido y volverá a valores normales.

- **Rotor curvado de forma permanente:** El rotor puede estar curvado de forma permanente, es decir, con una deformación no recuperable siguiendo el procedimiento indicado en el apartado anterior. No es fácil que esto suceda después de la puesta en marcha inicial de la turbina, y habitualmente se debe a un fallo preexistente, y que proviene del proceso de fabricación. Es habitual que el balanceo dinámico haya enmascarado el problema, aunque en el espectro inicial

de vibración, el que es recomendable realizar durante el inicio de la operación del equipo, es seguro que estará presente.

- **Fisura en el rotor:** En ocasiones, un defecto superficial del rotor avanza y termina convirtiéndose en una fisura o grieta, que provoca un desbalanceo en el rotor. Puede ocurrir por un defecto de fabricación del rotor (lo más habitual) o puede estar relacionado con corrosiones que el rotor puede estar sufriendo. Cuando esto ocurre, se detecta a través del análisis de vibraciones, y en la mayoría de los casos son visibles a simple vista o con ayuda de algún elemento de aumento. La solución suele ser cambiar el eje del rotor, aunque en algunos casos es posible la reparación en empresas especializadas en este tipo de trabajos en metales especiales, mediante reparación, aportación de material, rectificado y tratamiento de alivio de tensiones, será necesario volver a realizar un balanceo del rotor. Como medida preventiva para evitar corrosiones que convierten un defecto superficial en una grieta o fisura, se realiza el control químico del agua de la caldera.
- **Corrosión o incrustaciones en el rotor, álabes, etc.:** Si el acondicionamiento del vapor no ha sido el adecuado, pueden producirse corrosiones en los álabes o deposiciones de materiales extraños en éstos. Estas incrustaciones y corrosiones desequilibran la turbina al modificar el reparto de pesos a lo largo del eje de rotación. Cuando esto se produce la solución es la limpieza del conjunto rotor por chorreado o por limpieza mecánica. Habitualmente hay que extraer el rotor y realizar esta limpieza fuera de la turbina. En caso de incrustación, es conveniente tomar muestras de los materiales depositados y analizarlos, para conocer el origen de las partículas extrañas y tomar las medidas correctoras oportunas. Una vez limpiado el eje, será necesario equilibrarlo de nuevo. La mejor medida preventiva es realizar un cuidadoso control químico en el agua de la caldera, en el desgasificador, en los condensados y en el vapor proveniente de la caldera.
- **Presencia de agua o partículas en el vapor:** Si el vapor en la entrada de la turbina tiene partículas de agua líquida, el choque de estas gotas contra la turbina puede provocar vibraciones y desequilibrios. El vapor puede contener agua líquida por fallo en el sobrecalentamiento, por una atemperación excesiva, porque la válvula de atemperación esté en mal estado, o porque en el camino entre la válvula de atemperación y la entrada a turbina sufra un enfriamiento anormal. Si esto se produce es necesario detectarlo y corregirlo cuando antes, pues provocará una erosión en los álabes y se dañarán. El análisis de vibración y

las inspecciones endoscópicas ayudarán en la tarea de detección temprana del problema. La solución consiste inevitablemente en corregir el problema que esté causando la presencia de agua en el vapor.

- **Defecto en la bancada turbina:** Una bancada mal diseñada o mal ejecutada puede provocar vibración. Cuando se detecta una vibración, es conveniente en primer lugar verificar el estado de la bancada, intentando descubrir grietas, falta de material, etc. Si la vibración está presente desde la puesta en marcha y se han descartado otras causas, es muy probable que el problema esté relacionado con el diseño o con la ejecución de la bancada. La solución, en este caso, será revisar el diseño de la bancada, y si es éste es correcto, volver a ejecutarla.
- **Defecto en la sujeción a la bancada:** A pesar de que la bancada pueda estar bien ejecutada, la turbina puede no estar convenientemente sujeta a esta. Esto puede ocurrir porque los tornillos de sujeción no tengan el par de apriete apropiado o porque los tornillos no anclen correctamente a la bancada. Este fallo es mucho más habitual de lo que pueda parecer. Algunos autores denominan a este fallo ‘pedestal cojo’, y el análisis de vibración revela este fallo con relativa facilidad. Cuando este problema ocurre, se observa que aflojando uno de los tornillos de sujeción (el que causa el problema) el nivel de vibraciones extrañamente disminuye.
- **Tensión de tuberías de vapor:** Si el alineamiento de tuberías no es perfecto o no se han considerado correctamente los efectos térmicos de la dilatación, pueden provocarse tensiones en tuberías que hagan que se ejerza una fuerza extraña sobre la carcasa de la turbina. Estas fuerzas pueden provocar vibraciones, entre otras cosas. La tubería de entrada de vapor en turbinas pequeñas suele ser flexible, y la salida suele ir equipada con un compensador que une la carcasa de la turbina a la tubería de salida. Para comprobar si existe algún problema en este sentido, es conveniente soltar las tuberías de entrada y salida y comprobar cuál es su posición natural sin estar unidas a la turbina.

TRABAJOS DE MANTENIMIENTO PARA ESTE TIPO DE INSTALACIONES

En este capítulo se referirán los trabajos genéricos en este tipo de instalación, siendo en el siguiente capítulo donde se especificarán los trabajos a realizar en la instalación que nos ocupa.

Mantenimiento Operativo Diario.

1. Comprobación de alarmas y avisos
2. Vigilancia de parámetros de funcionamiento tales como niveles de ruidos y vibraciones anormales, revoluciones, temperaturas de entrada y salida del vapor, presiones de entrada y salida, presión, temperatura y caudal de aceite de lubricación, presión de vacío del depósito de aceite de lubricación, comprobación de nivel de aceite, presión diferencial de filtros, comprobación de la presión del vapor de sellos, entre otros.
3. Inspección visual de la turbina y sus auxiliares para detectar fugas de aceite, fugas de vapor, fugas de agua de refrigeración y registro de indicadores visuales.

Mantenimiento Quincenal

1. Inspección visual completa de la turbina
2. Inspección de fugas de aceite.
3. Limpieza de fugas de aceite si procede.
4. Inspección de fugas de vapor.
5. Inspección de fugas de agua de refrigeración.
6. Medición de la amplitud de vibración.
7. Inspección visual de la bancada.
8. Medida de agua en el aceite de lubricación.
9. Inspección visual del grupo hidráulico de aceite de control.
10. Inspección visual del sistema de eliminación de vahos.

Mantenimiento Mensual

1. Toma de muestra de aceite para análisis.
2. Purga de agua del aceite.
3. Comprobación de lubricación de reductor y de alternador.
4. Análisis del espectro de vibración en turbina, reductor y alternador, a velocidad nominal.
5. Comprobación funcionamiento parada de emergencia.

Revisión anual

1. Si se realizan todas las actividades que se detallan en esta lista, en realidad se están eliminando la mayoría de las causas que provocan los fallos más frecuentes. Si se compara esta lista de tareas con la lista de fallos más frecuentes se puede comprobar que esta revisión está orientada a evitar todos los problemas habituales de las turbinas. La razón de la alta disponibilidad de estos equipos cuando se realiza el mantenimiento de forma rigurosa es que realmente se está actuando sobre las causas que provocan los principales fallos.
2. Análisis del espectro de vibración de turbina, reductor y alternador, a distintas velocidades y en regímenes transitorios.
3. Inspección endoscópica de álabes.
4. Apertura de cojinetes y comprobación del estado. Cambio de cojinetes si procede. La mayor parte de los cojinetes pueden cambiarse o revisarse sin necesidad de abrir la turbina. Esto garantiza un funcionamiento ausente de vibraciones causadas por el mal estado de los cojinetes de apoyo y/o empuje.
5. Cambio de aceite, si procede (según análisis). Si es necesario se sustituye el aceite, pero no es habitual cambiar el aceite de forma sistemática sin haber detectado síntomas de que está en mal estado. Esta acción evita trabajar con un aceite en mal estado y garantiza la ausencia de problemas de lubricación.
6. Cambio de filtros de aceite. Esto garantiza el buen estado del aceite y la filtración de partículas extrañas.
7. Inspección de la válvula de regulación de turbina. Esto garantiza el buen estado de los elementos internos de la válvula, su correcto funcionamiento, y la comprobación del filtro de vapor de la válvula, lo que hará que la regulación sea la correcta, no haya problemas de sincronización ni de regulación y no pasen elementos extraños a la turbina que puedan haber sido arrastrados por el vapor.
8. Inspección del grupo hidráulico. Cambio de filtros y de aceite, si procede.
9. Inspección del sistema de eliminación de vahos. El funcionamiento a vacío del depósito de aceite garantiza que los vapores que se produzcan, especialmente los

relacionados con el agua que pueda llevar mezclado el aceite, se eliminan. Eso ayudará a que la calidad del aceite de lubricación sea la adecuada.

10. Comprobación de pares de apriete de tornillos. El apriete de los tornillos de sujeción a la bancada y los tornillos de la carcasa, entre otros, deben ser revisados. Esto evitará, entre otros, problemas de vibraciones debidos a un deficiente anclaje.
11. Comprobación de alineación de turbina-reductor y reductor alternador. Se haya detectado o no en el análisis de vibraciones, es conveniente comprobar la alineación mediante láser al menos una vez al año. Esto evitará problemas de vibraciones.
12. Comprobación del estado de acoplamiento turbina reductor y reductor-alternador. La comprobación visual de estos acoplamientos elásticos evitará entre otros efectos la aparición de problemas de vibración.
13. Calibración de la instrumentación. Muchas de las señales incorrectas y medidas falsas que provocarán un mal funcionamiento de la turbina pueden ser evitadas con una calibración sistemática de toda la instrumentación.
14. Inspección visual de los sellos laberínticos, por si se hubieran dañado desde la última inspección.
15. Termografía de la turbina. Esta prueba, a realizar con la turbina en marcha, permitirá saber si se están produciendo pérdidas de rendimiento por un deficiente aislamiento o por fugas de vapor.
16. Limpieza y mantenimiento del cuadro de control. Curiosamente, muchas averías en sistemas eléctricos y electrónicos están causados por la suciedad. Mantener los cuadros en su correcto
17. estado de limpieza garantiza la ausencia de estos problemas.
18. Inspección del virador. El virador es un elemento importantísimo durante las paradas. Un mal funcionamiento supondrá una dificultad o imposibilidad de arrancar la turbina. La inspección es sencilla y garantiza el correcto arranque tras una parada.

19. Prueba de potencia. Al finalizar la inspección será conveniente comprobar las prestaciones de la turbina, especialmente la potencia máxima que es capaz de alcanzar.

Revisiones Especiales

A continuación se explicarán los trabajos que se realizarán en diferentes periodos de trabajo de las turbinas de vapor. Las revisiones especiales están separadas según criticidad, las cuáles se llevan a cabo según las horas de operación o según la periodicidad en años de funcionamiento, en plantas generadoras suele coordinarse principalmente con las revisiones anuales de recertificación. En la siguiente tabla se puede ver cada cuantas horas o años se llevará a cabo una revisión a nuestro turbogenerador.

Horas de Operación	Años en Servicio	Tipo de Revisión
10.000	Máximo 4 años	Parcial
25.000	Máximo 8 años	Parcial
50.000	Máximo 15 años	Mayor
75.000	Máximo 20 años	Parcial
100.000	Máximo 25 años	Mayor

Revisión Parcial

Abertura de la carcasa de la turbina, si procede.

Inspección visual de las últimas etapas de la turbina de baja presión.

Inspección endoscópica de las partes accesibles.

Inspección de todos los cojinetes.

Inspección de la concentricidad de los acoplamientos.

Comprobación y calibración de los elementos de seguridad.

Comprobación, ajuste y calibración de los elementos del sistema de control.

Comprobación de las bombas de aceite de lubricación y control y sus respectivos sistemas.

Inspección de las válvulas de vapor.

Inspección de los sistemas de calentamiento, llenado y condensación.

Revisión Mayor

Todas las inspecciones y comprobaciones de la revisión menor.

Abrir la carcasa de la turbina o carcasas en caso de tener diferentes cilindros.

Inspección de los álabes.

Inspección completa de todos los acoplamientos, incluyendo la prueba de parada de emergencia por desplazamiento axial.

Inspección del rotor.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO – DESCRIPCIÓN

Mantenimiento preventivo

La estrategia de mantenimiento preventivo debe comprender:

- Monitoreo extensivo de todas las condiciones de operación.
- Revisiones basadas en horas equivalentes de operación y paradas programadas.

Monitoreo óptimo

Para visualizar la condición de la turbina, además de las presiones de vapor, temperatura y flujo, deberán ser permanentemente monitoreados los siguientes parámetros:

- Rotación / potencia.
- Temperaturas del metal patente de los cojinetes axiales y radiales.
- Vibraciones de eje o carcasa.
- Posición axial del rotor (cuando corresponda)
- Temperatura y presión de aceite lubricante.

El cuidadoso monitoreo de las tendencias es importante. Sólo de esa manera podrán ser detectados los cambios graduales.

La presión en la cámara de la rueda deberá ser medida regularmente para descubrir posibles depósitos.

Mantenimiento

El mantenimiento incluye la inspección, servicio y revisión/repación del equipo.

La inspección sirve para evaluar y determinar la condición actual. El servicio en el equipo ayuda a mantener la condición deseada, ya que cualquier reparación durante la revisión, o acción correctiva, se destina a mantener el equipo en buen estado de operación evitando paradas indeseadas.

Como consecuencia de reacciones físicas y/o químicas todos los componentes estarán sujetos a envejecimiento, y podrán sufrir, bajo uso normal, corrosión o una rotura repentina.

El desgaste del equipo dependerá principalmente de tres factores:

1. Del producto en sí, determinado por los:

- Materiales utilizados de acuerdo con la aplicación del equipo.

- Factores de seguridad del proyecto.

2. Del uso, que será influenciado por la(s) / los

- Calidad del vapor.
- Calidad del agua de refrigeración.
- Calidad del aceite de lubricación/regulación.
- Procedimientos de arranque/parada.

3. Del modo de operación.

- Carga parcial o sobrecarga.
- Operación alternada o continua.

La figura 2 muestra de qué modo el equipo puede comportarse a través del tiempo. Si, por ejemplo, durante la inspección en el momento t_1 , fuera detectada alguna irregularidad, la fuente del problema podrá ser eliminada y la vida útil podrá ser aumentada de acuerdo con la línea llena.

Un mantenimiento regular posibilitará el descubrimiento de cualquier punto débil en el equipo antes de que produzcan daños y, consecuentemente, fallas.

De acuerdo con lo demostrado en la figura 2, el mantenimiento podrá restaurar el componente a una condición de casi nueva (CR) o podrá producir una condición aún mejor (CM) si fueran aplicados durante la reparación, tecnología avanzada y/o mejoramientos de proyecto.

Por lo tanto, recomendamos el siguiente mantenimiento preventivo. La supervisión y prueba de desempeño de la turbina deberán ser realizadas regularmente y de acuerdo con las instrucciones de operación; durante su desarrollo no se deberá encontrar ningún parámetro anormal.

- una inspección deberá ser efectuada después de cada 10.000-12.000 horas de operación entre revisión parcial y general;

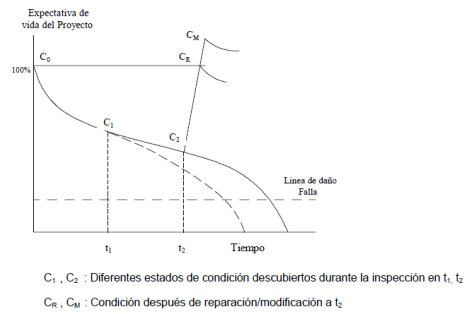


Figura 2

De acuerdo con la figura 3:

- Una inspección deberá ser efectuada después de cada 10.000-12.000 horas de operación entre revisión parcial y general.
- Una revisión parcial deberá ser efectuada después de un total de 25.000 horas de operación equivalentes.
- Una revisión general después de un total de 50.000 horas de operación equivalentes.

Las horas de operación equivalentes serán determinadas por las siguientes operaciones:

$$T_e = T_{eff} + n_s \times T_s$$

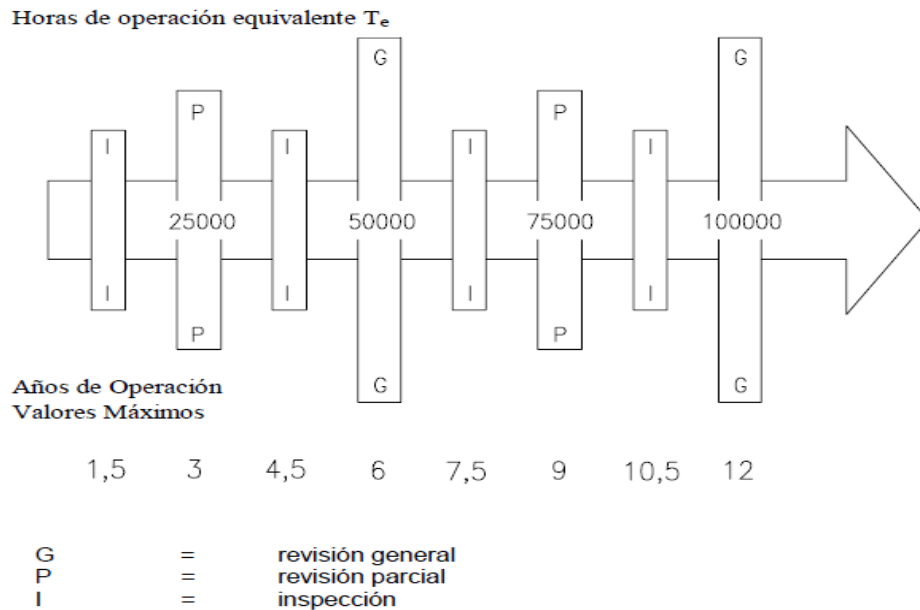
- Donde T_e = horas de operación equivalentes
 T_{eff} = horas reales de operación
 T_s = horas de operación equivalentes a un arranque. De acuerdo con el conocimiento actual, 30 horas cuentan como equivalentes a un arranque.
 n_s = cantidad de arranques sin diferenciar entre arranques en caliente y en frío.

Después de completar las 100.000 horas iniciales equivalentes, problemas de fatiga de material y expectativa de vida útil restante deberán adquirir mayor significado. Desde ese momento, esas influencias deberán ser consideradas al determinar fecha de inspección. Es necesaria una discusión detallada con el fabricante.

Se evitará la extensión de los intervalos de revisión más allá de las 50.000 horas de operación equivalentes, por los siguientes motivos:

- Además de las 50.000 horas de operación, el desmontaje de piezas en la zona de vapor generalmente es muy difícil.

- La tensión aplicada en los elementos de fijación de bridas de vapor, disminuye a lo largo del tiempo de operación, debiendo ser recalibrados.
- Los daños por erosión y corrosión podrán ocasionar roturas.



DETALLE DE INSPECCIONES, REVISIÓN PARCIAL Y GENERAL

Inspección.

- El funcionamiento y ajustes apropiados de todos los dispositivos para:

- Monitoreo
- Seguridad
- Protección

Deberán ser verificados

- Todas las pruebas/inspecciones funcionales definidas para el funcionamiento deben ser realizadas

- Durante el trabajo operacional las siguientes pruebas deberán ser hechas:

- Medición del consumo de vapor
- Determinación de la eficiencia interna
- Medición de la cámara de la rueda
- Mediciones de vibración.

- Soporte de la carcasa de la turbina por los pedestales de los cojinetes (calzas deberán estar libres).
 - Verificación de las presiones y temperaturas de los cojinetes.
- Todos los valores deberán ser comparados con las lecturas anteriores.

Revisión parcial.

Al término de la mitad del período entre revisiones, las revisiones parciales deberán ser efectuadas, incluyendo principalmente (además del detalle de inspección):

- Una inspección de los cojinetes y verificación de las luces axiales y radiales del rotor.
- Verificación de concentricidad, donde sea aplicable.
- Inspección de las superficies de guías, asientos y resortes de compresión de las válvulas de regulación y de cierre rápido de emergencia.
- Inspección del acoplamiento y alineamiento entre la turbina y máquina accionada.
- Prueba funcional del sistema de control y seguridad.
- Inspección con endoscopio, si se aplica.

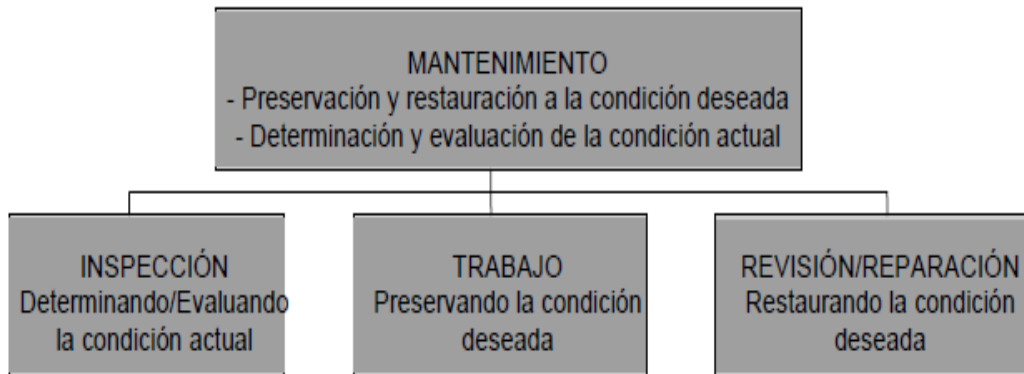
Revisión general.

En este caso, el detalle del trabajo es complementado por:

- Abertura de la carcasa de la turbina.
- Muestreo de los depósitos.
- Limpieza por arenado (si es necesario).
- Inspección de los inyectores y alabes en cuanto a las partículas extrañas y a los daños causados por éstas, a los depósitos, ataque de erosión, marcas de contacto y grietas
- Evaluación de carcasas, rotor y estatores en cuanto a grietas.
- Verificación del balanceamiento del rotor.
- Verificaciones de alineamiento y luces de holgura internas.
- Inspección de todos los laberintos y aros de retención de aceite en cuanto a las marcas de contacto y deformación.
- Inspección de prisioneros en cuanto al estiramiento permanente y comparación con largo original, dureza y grietas.
- Verificación del montaje de los cuerpos de cojinetes, fijación y libertad para dilataciones.
- Limpieza de los componentes del sistema de aceite y arranque.
- Verificación de las fuerzas y momentos externos de los tubos.

PIEZAS DE REPOSICIÓN.

Es de vital importancia que se mantenga una cantidad suficiente de piezas de reposición en reserva. Esto acortará los tiempos de paradas de la máquina y mantendrá la alta disponibilidad de la planta.



PROGRAMACIÓN DE LOS TRABAJOS.

A continuación se llevará a cabo una pequeña explicación de cómo se realizarán y su duración, considerando ésta en las peores condiciones, por lo que se han considerado unos tiempos aparentemente mayores del tiempo estrictamente necesario.

Mantenimiento Operativo Diario

- Los trabajos de mantenimiento operativo diario, son trabajos rutinarios, realizados por los operadores responsables de la máquina, las cuales tienen una duración de 4 horas, comprendiendo limpiezas superficiales, seguimiento de los parámetros de funcionamiento, termo técnicos y de seguridad.

Mantenimiento Quincenal

- Estas tareas serán como las del mantenimiento diario pero un poco más extensas, su programación se verá implicada según la disponibilidad operativa del área. Estos trabajos se organizarán considerando la disponibilidad del personal y su trabajo durante sus turnos, comprendiendo limpiezas de mayor alcance,

Prueba Bombas Aceite Turbos y Válvulas de Cierre Rápido Turbina.

Fecha: _____

Prueba Bombas de Aceite:

TG1

Bomba Auxiliar	77-032	<u>Ok. Sin novedad</u>
Bomba Emergencia	77-031	<u>Ok. Sin novedad</u>

TG2

Bomba Auxiliar	77-057	<u>Ok. Sin novedad</u>
Bomba Emergencia	77-059	<u>Ok. Sin novedad</u>

TG3

Bomba Auxiliar	77-316	<u>Ok. Sin novedad</u>
Bomba Emergencia	77-317	<u>Ok. Sin novedad</u>

Prueba Válvulas C.R. Turbina 1:

Prueba CR lado derecho Sin novedad

Prueba CR lado izquierdo Sin novedad

Nombre y Firma Operador

Prueba Grupos Electr6genos.

Fecha: 08 - Marzo - 2017

Check List antes de poner en marcha el Motor Diesel.

	77-056	77-111	77-444
Nivel refrigerante	<u>OK</u>	<u>OK</u>	<u>OK</u>
Nivel aceite motor	<u>OK</u>	<u>OK</u>	<u>OK</u>
Indicador Saturaci3n Filtro	<u>OK</u>	<u>OK</u>	<u>OK</u>
<u>Chequeo Aspas Ventilador</u>	<u>OK</u>	<u>OK</u>	<u>OK</u>
<u>Funcionamiento Calefactor</u>	<u>OK</u>	<u>NO</u>	<u>NO</u>

Equipo en Servicio

<u>Fugas aceite</u>	<u>OK</u>	<u>OK</u>	<u>OK</u>
<u>Fugas refrigerante</u>	<u>OK</u>	<u>OK</u>	<u>OK</u>
<u>Fugas Gases</u>	<u>OK</u>	<u>OK</u>	<u>OK</u>
<u>Fugas Combustible</u>	<u>OK</u>	<u>OK</u>	<u>OK</u>
<u>Indicador de frecuencia (50 HZ)</u>	<u>OK</u>	<u>OK</u>	<u>OK</u>
<u>Indicador de voltaje (660 Volt)</u>	<u>OK</u>	<u>OK</u>	<u>OK</u>

Otros Detalles77-056 (TG1): Sin observaciones77-111 (TG2): Alarma de baja temperatura activada, calefactor continúa f/s.77- 444 (TG3): Calefactor el3ctrico e/s, pero no recircula el agua hacia block del motor.Continua filtraci3n desde el sensor de nivel del estanque de petr3leo, v3lvulas manuales de alimentaci3n de petr3leo, continúan cerradasNombre y Firma Operador

Mantenimiento Mensual

- Toma de muestra de aceite para análisis en sus diferentes puntos de muestreo según plano sistema de lubricación.
- Purga de agua del aceite, no debería llevar más de 30 minutos previos a la puesta en marcha.
- Comprobación de lubricación de reductor y de alternador, no debería llevar más de 30 minutos.
- Análisis del espectro de vibración en turbina, reductor y alternador, a velocidad nominal. El registro y análisis podría hacerse, si se automatiza, en 30 minutos. Este procedimiento se realiza teniendo mediciones en línea de parámetros de vibración.
- Revisión y prueba del sistema de parada del sistema de parada de emergencia, que no ha de durar más de 15 minutos, según pauta de pruebas de seguridad.

Revisión anual

Análisis del espectro de vibración de turbina, reductor y alternador, a distintas velocidades y en regímenes transitorios:

- Inspección endoscópica de álabes.
- Apertura de cojinetes y comprobación del estado. Cambio de cojinetes si procede, la mayor parte de los cojinetes pueden cambiarse o revisarse sin necesidad de abrir la turbina. Esto garantiza un funcionamiento ausente de vibraciones causadas por el mal estado de los cojinetes de apoyo y/o empuje. Las sociedades de clasificación permiten no abrir cojinetes si el registro de vibraciones es correcto, pasando sólo a su sustitución cada cuatro años, por lo que se propone aprovechar el análisis propuesto, para no tener que consumir tiempo en desmontar para realizar esta inspección.
- Cambio de aceite, si procede (según análisis). Si es necesario se sustituye el aceite, pero no es habitual cambiar el aceite de forma sistemática sin haber detectado síntomas de que está en mal estado. Esta acción evita trabajar con un aceite en mal estado y garantiza la ausencia de problemas de lubricación. En este caso deja de ser una acción preventiva respecto al tiempo para ser una acción en

función del estado, por lo que la periodicidad dependerá sólo del estado, se le asigna un tiempo de 4 horas aprovechando que la turbina esté parada.

- Cambio de filtros de aceite. Esto garantiza el buen estado del aceite y la filtración de partículas extrañas. Ha de considerarse que los filtros también pueden ser analizados y con ello ir ajustando el periodo de cambio a la duración más adecuada. El cambio no suele llevar más de 1 hora y el análisis puede externalizarse.
- Inspección de la válvula de regulación de turbina. Esto garantiza el buen estado de los elementos internos de la válvula, su correcto funcionamiento, y la comprobación del filtro de vapor de la válvula, lo que hará que la regulación sea la correcta y no hayan problemas de sincronización ni de regulación. Suele conllevar el desmontaje de la rejilla de entrada y la verificación del funcionamiento, que suele llevar un tiempo de 3 horas.
- Inspección del grupo hidráulico. Cambio de filtros y de aceite, si procede, planteándose éste cambio más como un mantenimiento predictivo según el estado más que un mantenimiento preventivo basado en el calendario, por lo que la periodicidad dependerá del estado, en caso de realizarse se le asigna una duración de 1 hora al trabajo.
- Inspección del sistema de eliminación de vahos. El funcionamiento a vacío del depósito de aceite garantiza que los vapores que se produzcan, especialmente los relacionados con el agua que pueda llevar mezclado el aceite, se eliminan. Eso ayudará a que la calidad del aceite de lubricación sea la adecuada. Puede planificarse en función del resultado de los análisis de aceites, en caso de realizarse llevaría un tiempo de 30 minutos.
- Comprobación de pares de apriete de pernos. El apriete de los tornillos de sujeción a la bancada y los tornillos de la carcasa, entre otros, deben ser revisados. Esto evitará, entre otros, problemas de vibraciones debidos a un deficiente anclaje. Puede planificarse en base al análisis de vibraciones, se prevé una duración de 3 horas.

- Comprobación de alineación de turbina-reductor y reductor-generator. Se haya detectado o no en el análisis de vibraciones, es conveniente comprobar la alineación mediante láser al menos una vez al año. Esto evitará problemas de vibraciones. Esta verificación suele llevar unas 2 horas cuando se realiza a máquina parada o mediante análisis de vibraciones a máquina en funcionamiento, por lo que se propone aprovechar el análisis de vibración propuesto tener que consumir tiempo en realizar esta inspección a máquina parada.
- Comprobación del estado de acoplamiento turbina reductor y reductor-alternador. La comprobación visual de estos acoplamientos elásticos evitará entre otros efectos la aparición de problemas de vibración. Desmontar la protección y la inspección puede llevar un tiempo de 1 hora por acoplamiento a máquina parada.
- Calibración de la instrumentación. Muchas de las señales incorrectas y medidas falsas que provocarán un mal funcionamiento de la turbina pueden ser evitadas con una calibración sistemática de toda la instrumentación. En el caso de instrumentación electrónica pueden incorporarse sistemas de autochequeo que faciliten esta actividad, de otro modo, dependerá del instrumento el tiempo de verificación, aunque suele llevar un tiempo que va de los 10 minutos a los 20 según el instrumento, así ganando un tiempo total de 3 horas para verificar la calibración de los instrumentos.
- Inspección visual de los sellos laberínticos, por si se hubieran dañado desde la última inspección. Se hace a máquina parada y destapar, inspeccionar y tapar puede llevar un tiempo de 1 hora por sello.
- Termografía de la turbina. Esta prueba, a realizar con la turbina en marcha, permitirá saber si se están produciendo pérdidas de rendimiento por un deficiente aislamiento o por fugas de vapor. Permite determinar el estado del aislamiento y detectar fugas de vapor, este análisis no ha de consumir más de 20 minutos.
- Limpieza y reapriete de componentes del panel de control. Curiosamente, muchas averías en sistemas eléctricos y electrónicos están causados por la suciedad. Mantener los paneles en su correcto estado de limpieza garantiza la ausencia de estos problemas, se le asigna una duración de 1 hora.

- Inspección del giro lento. El giro lento es un elemento importantísimo durante las paradas. Un mal funcionamiento supondrá una dificultad o imposibilidad de arrancar la turbina. La inspección es sencilla y garantiza el correcto arranque tras una parada. Revisión completa del elemento motriz y el aislamiento eléctrico, se le asigna una duración de 1 hora.
- Prueba de potencia. Al finalizar la inspección será conveniente comprobar las prestaciones de la turbina, especialmente la potencia máxima que es capaz de alcanzar.

Revisiones Especiales

- Revisión Menor (la duración será de 2 a 4 semanas de trabajo).
- Abertura de la carcasa de la turbina, si procede.
- Inspección visual de las últimas etapas de la turbina de baja presión. Se busca indicios de corrosión u otros daños.
- Inspección endoscópica de las partes accesibles.
- Inspección de todos los cojinetes. Es probable que la sociedad de clasificación obligue a cambiarlos si no se han monitorizado mediante el análisis de vibraciones.
- Inspección de la concentricidad de los acoplamientos.
- Comprobación y calibración de los elementos de seguridad.
- Comprobación, ajuste y calibración de los elementos del sistema de control.
- Comprobación de las bombas de aceite de lubricación y control y sus respectivos sistemas.
- Inspección de las válvulas de vapor.
- Inspección de los sistemas de calentamiento, llenado y condensación.
- Revisión Mayor (la duración será de 4 a 8 semanas de trabajo)
- Todas las inspecciones y comprobaciones de la revisión menor.
- Inspección de los álabes.
- Inspección completa de todos los acoplamientos, incluyendo la prueba de parada de emergencia por desplazamiento axial.
- Inspección del rotor. Visual o por líquidos penetrantes

PLAN DE MANTENIMIENTO

A continuación se mostrará una distribución de los trabajos según su numeración, duración y periodicidad. Los trabajos que no acaban consumiendo tiempo ya no han sido considerados en:

Distribución de los Trabajos

Después de haber estudiado la duración y modo de realización de los trabajos, llega el momento de hacer la distribución.

Esta distribución de trabajos se planifica para el periodo de 52 semanas que corresponden a un año.

No se han tenido en cuenta los trabajos diarios de operatividad en la planificación ya que son ejercicios rutinarios y no necesitan una planificación especial como es el caso de los trabajos quincenales, mensuales y anuales que se verán distribuidos a continuación ya que forman parte de los trabajos a realizar durante la detención del turbogenerador.

Se toma como referencia que la carga de trabajo semanal será de lunes a viernes, reservando de este modo el sábado y el domingo para la realización de posibles trabajos retrasados debido a la operatividad de la planta.

ASPECTOS AMBIENTALES RELATIVOS AL MANTENIMIENTO

MATERIAL / RECURSO	UTILIZACIÓN / GENERACIÓN	ASPECTOS AMBIENTALES	IMPACTOS AMBIENTALES	RECOMENDACIONES
Sílice	Utilizado dentro de paneles y compartimientos para retención de humedad	Descarte del embalaje y sílice	Alteración de la calidad del suelo	Embalaje: destinar a reciclaje. Sílice: descartar como escombros común
Tapas de plástico	Utilizadas para tapar la tubería antes del montaje final en campo	Descarte de las tapas	Alteración de la calidad del suelo	Enviar a reciclaje o devolver a SIEMENS
Plástico, Papel, Cartón	Embalaje de los equipos para	Descarte de los materiales	Alteración de la calidad del suelo	Separar Papel, Cartón y Plástico y

	protección y transporte			destinar a reciclaje
Residuos metálicos	Generado en el mecanizado y montaje del equipo en campo	Descarte de residuo metálico	Alteración de la calidad del suelo	Considerar el residuo metálico como chatarra y destinar a reciclaje
Chatarra metálica	Sobra de materiales en el montaje, tales como, tubos, chapas, puntas de electrodos, etc.	Descarte de la chatarra metálica	Alteración de la calidad del suelo	Destinar la chatarra metálica a reciclaje
Aceite lubricante	<i>Flushing</i> (limpieza) de la tubería antes del arranque del equipo	Descarte de aceite usado	Alteración de la calidad del suelo y del agua superficial	Destinar los aceites usados a reciclaje en colectores autorizados
Fugas de aceite	Generadas por las conexiones y juntas en el <i>flushing</i> u operación del equipo	Derrame de aceite	Contaminación del suelo y del agua superficial	Utilizar llaves adecuadas y reapretar las conexiones. Sustituir las juntas defectuosas o gastadas
Soda y ácidos	Solución para decapado de tubería	Descarte de efluente industrial conteniendo soda y ácidos	Contaminación del suelo y del agua superficial	Efectuar tratamiento del efluente conforme legislación en vigor
Lana de roca / amianto	Utilizados para aislamiento térmico	Descarte del material	Alteración de la calidad del suelo	Destinar el material a aterramiento sanitario
Junta de selladura con asbesto	Utilizada en la selladura de tubería de vapor	Descarte de las juntas	Alteración de la calidad del suelo	Destinar el material a aterramiento sanitario
Madera	Utilizada para embalaje de los equipos	Descarte de madera	Falta de disponibilidad de recurso natural	Destinar las maderas a reaprovechamiento
Filtro de aceite (elemento)	Utilizado para filtrado del aceite del sistema hidráulico	Descarte del elemento	Alteración de la calidad del suelo	Destinar el elemento filtrante a incineración
Grasa	Renovación de la grasa del equipo (acoplamiento, engranajes, etc.)	Descarte de la grasa	Alteración de la calidad del suelo	Colectar el material y reaprovechar para otras finalidades o destinar a incineración.
Estopa / paño contaminados con aceites y solventes	Limpieza del equipo	Descarte de estopa / paños	Alteración de la calidad del suelo	Estopa: Destinar a incineración. Paños: Destinar a colectores autorizados para

				remoción de los residuos y reutilización.
Solventes	Utilizados en la limpieza del equipo / remoción de aceites y grasas	Descarte de efluentes con solvente	Alteración de la calidad del suelo y del agua superficial	Efectuar tratamiento del efluente conforme legislación en vigor
Aceite protector- (interior de la turbina)	Utilizado para protección contra oxidación en el interior de la turbina	Remoción del aceite protector	Alteración de la calidad del suelo y del agua superficial	Al entrar el equipo en operación el propio vapor removerá el aceite que saldrá pulverizado junto con éste en una cantidad muy pequeña (1 litro para turbinas multietapas y 300ml para las de etapa simple)
Aceite protector ceroso (bancadas)	Utilizado para protección contra oxidación en las bancadas de la turbina	Descarte de efluentes con aceite y solventes utilizados en la remoción	Alteración de la calidad del suelo y del agua superficial	Efectuar tratamiento del efluente conforme legislación en vigor

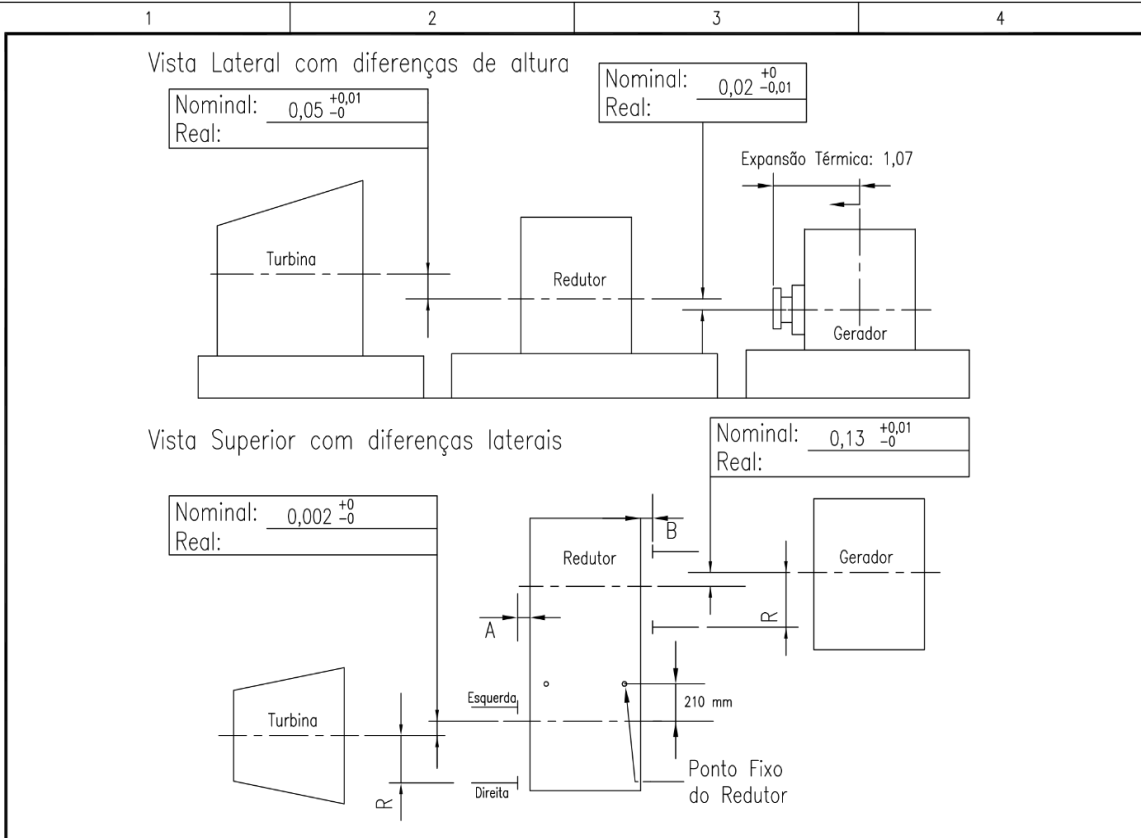
LISTA DE REPUESTO RECOMENDADAS

Conjunto	Pieza	Cant. Recomendada
Double Lube Oil Filter	As supplier spare part list	01
Control Oil Filter	As supplier spare part list	01
Oil Tank	Resistance of heating of the oil	01

Main Oil Pump	As supplier spare part list	01
Auxiliary Oil Pump	As supplier spare part list	01
Emergency Oil Pump	As supplier spare part list	01
Oil Mist Exhaust	As supplier spare part list	01
Double Heat Exchanger	As supplier spare part list	01

Conjunto	Pieza	Cant. Recomendada
Turbine	Gland Seal Labyrinth – Front End	01
	Balance Piston Labyrinth - AKI-AKII	01
	Gland Seal Labyrinth – Rear End	01
	Gasket Sealing	01
Cojinetes	Radial Bearing – Rear End	01
	Bearing Housing – Rear End	01
	Axial Bearing	01
	Radial Bearing – Front End	01

Este documento não deve ser copiado ou reproduzido sem o conhecimento prévio da Siemens, e só deve ser utilizado na finalidade para a qual foi cedido.



	Superior	Direita	Inferior	Esquerda	Diferença Máx.		Data	Nome
A - Radial						Montador		
A - Axial						Inspetor		
B - Radial								
B - Axial								

NOTAS:

- Com este alinhamento é esperado que em temperaturas normais de serviço todos os centros de eixos estejam alinhados.
- A dimensão "A" não deve ser superior que 0.015 mm para cada 100 mm do raio "R" nos quatro pontos de medição (Superior, Direita, Inferior e Esquerda). Se possível, tentar obter 0,00.
- Medidas efetivas (real), bem como indicações de desalinhamento (A) devem ser marcadas neste desenho e devolvidos para SIEMENS.
- As carcaças e/ou corpos de mancais dos equipamentos, deverão estar com temperatura de $30 \pm 5^\circ\text{C}$, durante o alinhamento.
- SIEMENS deverá ser consultada em caso dos valores de temperatura divergirem do parâmetro indicado acima, no item 4.

Acabamento Superficial											
DIN 3141	DIN ISO 1302	0	-	-	Emissão Inicial		16.12.09	WAGNER			
\sim	$\sqrt{W} = \sqrt{\text{bruto}}$	Rev.	Campo	ECM	Alterações			Data	Nome		
∇	$\sqrt{P} = \sqrt{Rz 100}$	2010	Desenhado	Verificado	Aprovado	Turbina tipo		SIEMENS			
∇	$\sqrt{P} = \sqrt{Rz 40}$	Data	16.12.09	16.12.09	08.01.10	SST 300					
∇	$\sqrt{P} = \sqrt{Rz 25}$	Nome	WAGNER	MARINS	ABAETÉ	Peso					
∇	$\sqrt{P} = \sqrt{Rz 16}$	Desenho compl. ou lista					-				
∇	$\sqrt{P} = \sqrt{Rz 10}$	Escala	ESQUEMA DE ALINHAMENTO OST 43035					Desenho Nr.	Rev.		
∇	$\sqrt{P} = \sqrt{Rz 6.3}$	S/E						1.19.43035.00.4		0	
Medidas s/ tolerâncias usar grau de precisão DIN 7168 - mS		Substituído pelo									

CONCLUSIONES

En este proyecto se ha propuesto un plan de mantenimiento alternativo al actualmente realizado para una turbina de vapor de alta presión de una planta autogeneradora de energía eléctrica.

Para ello se han estudiado los elementos, las principales fallas y problemas, y se han descrito los trabajos que se realizarán, su duración y su periodicidad.

También se ha analizado la normativa referente a las turbinas de vapor para definir los elementos y parámetros a mantener e inspeccionar.

Normalmente la turbina tomada como referencia es un equipo de gran relevancia para el proceso productivo con lo que, la realización de algunos trabajos dependerá de si se está en servicio o detenida, es por ello que el responsable de mantenimiento tendrá que adaptar la planificación al estado y a la operativa de la planta.

La planificación de los trabajos se ha establecido en una base temporal quincenal a fin de adaptarse mejor a la condición operativa de la turbina como se ha planteado anteriormente.

La carga de trabajo resulta baja puesto que sólo se han planificado los trabajos preventivos y predictivos relacionados con las turbinas extracción controlada, quedando exentos los trabajos de mantenimiento correctivo que puedan surgir respecto de las turbinas y el resto de los equipos que conforman la planta que también han de ser mantenidos.

Este proyecto nos ha aportado nuevos conocimientos de gran utilidad ya que este tipo de máquinas están presentes en de forma más habitual en el mundo industrial.