

PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PARA UNA TURBINA DE VAPOR PARA LA PROPULSIÓN DE UN BUQUE GASERO



Autor: **Bartolomé Fco. Socías Forteza**

Director: **Ramón Grau Mur**

Centro: **FNB**

Titulación: **Ingeniería Técnica Naval en Propulsión y Servicios del Buque**

Curso: **2010-2011**



Dedico este proyecto a mis hermanos Sebastiana, Toni y Margalida, a mi pareja Xisca, familia y amigos. También lo dedico con mucho cariño a dos amigos que desgraciadamente ya no se encuentran entre nosotros, Josep y Santi.

Y muy especialmente a mis padres Catalina y Rafael que sin su ayuda e incansable apoyo nunca habría podido llegar hasta aquí.

Agradecimientos

Agradezco el empeño, paciencia y tiempo de mi tutor y director del proyecto D. Ramón Grau Mur.

Y también le doy las gracias al profesor D. Vicente Sáenz Marín por la información facilitada para la realización de este proyecto.

ÍNDICE

1.	Introducción	1
2.	Descripción del Equipamiento	3
2.1.	El Rotor	3
2.2.	La Carcasa	3
2.3.	Los Álabes	4
2.4.	La Válvula de Regulación	5
2.5.	Cojinetes de apoyo, de bancada o radiales	5
2.6.	Cojinete de empuje o axial	6
2.7.	Sistema de Lubricación	6
2.8.	Sistema de Extracción de Vahos	7
2.9.	Sistema de Refrigeración de aceite	7
2.10.	Sistema de aceite de control	7
2.11.	Sistema de Sellado de vapor	7
2.12.	Virador	8
2.13.	Compensador	8
2.14.	Sistema de drenaje del vapor condensado	8
3.	Normativa Aplicable	9
3.1.	Planos y Particularidades	9
3.2.	Materiales	10
3.3.	Diseño y Construcción	11
3.4.	Planos de Seguridad	15
3.5.	Planes de Emergencia	17
3.6.	Pruebas y Equipamiento	18
4.	Principales Fallos/Problemas y Técnicas de Diagnóstico	21
4.1.	Fallos/Problemas Graves	21
4.2.	Detección de Fallos/Problemas a partir de las vibraciones	22
5.	Trabajos de Mantenimiento para este tipo de Instalaciones	31
5.1.	Mantenimiento Operativo Diario	31
5.2.	Mantenimiento Quincenal	31
5.3.	Mantenimiento Mensual	32
5.4.	Revisión Anual	32
5.5.	Revisiones Especiales	35
6.	Programación de los Trabajos	37
6.1.	Mantenimiento Operativo Diario	37
6.2.	Mantenimiento Quincenal	37
6.3.	Mantenimiento Mensual	37
6.4.	Revisión Anual	38
6.5.	Revisiones Especiales	41

7.	Plan de Mantenimiento	43
7.1.	Distribución de los Trabajos	44
8.	Conclusiones	59
9.	Bibliografía	61
10.	- Anexo - <i>Rules and Regulations for the Classification of Ships, July 2005 part 5 Main and Auxiliary machinery</i> en soporte electrónico	

1. 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.

Con el paso de los años, la evolución de la industria y la tecnología, el vapor ha tenido un papel muy importante y las turbinas de vapor siempre han tenido una gran influencia.

Si profundizamos más en el ámbito naval, sobre los años 30, la gran totalidad de los buques eran construidos con turbinas de vapor como propulsión principal, la pena ha sido que con el paso del tiempo hasta la actualidad eso se ha ido perdiendo. Actualmente los buques se construyen con motores de combustión interna para la propulsión principal, sin embargo, el tipo de buques que aun siguen construyéndose con turbinas de vapor son los gaseros y los usos más habituales en tierra son en centrales térmicas y en las centrales de ciclo combinado entre otros.

En el presente proyecto se han estudiado los requerimientos de mantenimiento de una turbina de vapor, tomando como referencia una turbina de la marca Kawasaki de unos 37500 BHP y se ha analizado la normativa del Lloyd's Register referente a estos equipamientos para proponer un plan de mantenimiento que cumpla la normativa y que se adapte al plan de explotación actual del buque tomado como referencia.

El motivo por el que me he decidido a hacer este proyecto ha sido para adquirir conocimientos sobre el mantenimiento de las turbinas de vapor, ya que una de las grandes salidas al mercado laboral son las centrales eléctricas y en ellas encontramos turbinas de vapor conectadas a un generador para producir la electricidad y otra motivación es que al haber estudiado la diplomatura en máquinas navales, es un valor añadido para que en caso de embarcar en gaseros tener unos conocimientos previos sobre el mantenimiento de ellas.

Una de las cosas que me ha llamado la atención es que hasta ahora no se ha hecho ningún proyecto final de carrera sobre el mantenimiento de este tipo de máquinas, con lo que, ha sido un aliciente más para llevarlo a cabo.

2. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPAMIENTO

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 mandado al condensador y de nuevo empezará el ciclo por la caldera hasta llegar otra vez a la turbina.

Según la potencia de la turbina y según el emplazamiento de la instalación, la turbina podrá tener extracciones de vapor para que ese vapor regrese a la caldera y ser recalentado para poder aumentar el rendimiento de la instalación.

La turbina que tomamos de referencia para llevar a cabo este proyecto, es una turbina de la marca Kawasaki y de unos 37500 BHP.

2.1. El rotor: El rotor o eje de una turbina es de acero fundido con ciertas cantidades de Níquel o cromo para darle tenacidad al rotor, 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.

2.2. La 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.

2.3. Los Álabes: se realizan de aceros inoxidables, 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 alabes. 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 alabes fijos y móviles se colocan en ranuras alrededor del rotor y carcasa. Los alabes 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 alabes se fijan en un anillo donde se remachan, y los más largos a menudo se amarran entre si 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 álabes fijos y móviles.

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

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

Los álabes tienen diferentes formas, todo ello depende si hablamos de álabes de impulso o acción (el nombre de estos álabes viene a partir de las turbinas de acción que operan sólo con este tipo de álabes, normalmente usadas para el accionamiento de turbobombas u otras máquinas). Este tipo de álabes 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. Tienen forma de U y no siempre son simétricos.

Por otra parte tenemos los álabes de reacción (cogen 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 álabes de acción y álabes 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.

- 2.4. 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.

- 2.5. Cojinetes de apoyo, de bancada 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, bien 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.

- 2.6. 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 eje por el efecto del vapor repercute en el reductor, dañándolo seriamente. No se encuentra en contacto con el eje si no que hace tope con un disco que forma parte solidaria con el eje.

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 convenientemente lubricado.

Para comprobar el estado de ese cojinete, además de la medida de la temperatura y de las vibraciones del eje, 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.

- 2.7. Sistema de lubricación:** Proporciona el fluido lubricante, generalmente aceite. Para asegurar la circulación del aceite en todo momento el sistema suele estar equipado con tres bombas:

2.7.1. 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

2.7.2. 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.

2.7.3. 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.

- 2.8. 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.
- 2.9. Sistema de refrigeración de aceite:** El aceite en su recorrido de lubricación se calienta 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.
- 2.10. 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 50 y los 200 bars 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.
- 2.11. Sistema de sellado de vapor:** Las turbinas de vapor están equipadas con sellos de carbón, 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.
- 2.12. Virador:** 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.

2.13. Compensador: Es el elemento de unión entre la salida de la turbina y el resto de la instalación (generalmente las tuberías que conducen al condensador o el propio condensador). Ya que la carcasa de la turbina sufre grandes cambios de temperatura, este elemento de unión es imprescindible para controlar y amortiguar el efecto de dilataciones y contracciones.

2.14. Sistema de drenaje del vapor condensado: Se utiliza para el drenaje del vapor condensado cuando se está arrancando la turbina antes de funcionar a 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 la curvatura del rotor.

3. NORMATIVA APLICABLE

La normativa utilizada es: “Rules and Regulations for the Classification of Ships, July 2005” (normas y regulaciones para la clasificación de barcos de Julio del 2005). Concretamente nos centraremos en la parte 5, “Main and Auxiliary machinery” (maquinaria principal y auxiliar), capítulo 3, “Steam turbines” (turbinas de vapor).

Los requisitos de este capítulo se aplican para turbinas de vapor para propulsión principal y también para servicios auxiliares donde la potencia sea superior a 110 kW o 150 shp (potencia en el eje).

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

3.1. Planos y particularidades

3.1.1. Planos

3.1.1.1. 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 eje y bajo condiciones de emergencia que están indicadas en los siguientes planos.

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

- 3.1.1.2. Para las condiciones de emergencia, todas las particularidades para la propulsión en caso de emergencia están en el punto 3.5.3.
- 3.1.1.3. Donde los rotores y las carcasas son de construcción soldada, los detalles de las juntas soldadas tienen que tenerse en consideración.
- 3.1.1.4. En general, los planos para turbinas auxiliares no es necesario tenerlos presentes.

3.2. Materiales

3.2.1. General

- 3.2.1.1. En la selección de los materiales, se tienen que tomar en consideración la resistencia al deslizamiento, resistencia a la corrosión y a las incrustaciones en temperaturas de trabajo para asegurar un funcionamiento satisfactorio durante un largo periodo de tiempo de vida en condiciones de servicio.
- 3.2.1.2. La fundición gris no tiene que ser usada para temperaturas superiores a 260°C.

3.2.2. Materiales para forja

- 3.2.2.1. Los rotores y los discos tienen que ser forjados en acero. Para forjas al carbón-manganeso, el mínimo específico para la resistencia a la tensión tiene que estar seleccionado entre 400 y 600 N/mm² (41 y 61 kgf/mm²). Para aleaciones en aceros forjados, el mínimo específico para la resistencia a la tensión tiene que estar seleccionado entre 500 y 800 N/mm² (51 y 82 N/mm²). Para discos y otras aleaciones en aceros forjados, el mínimo específico para la resistencia a la tensión tiene que estar seleccionado entre 500 y 1000 N/mm² (51 y 102 N/mm²).
- 3.2.2.2. Para aleaciones de acero, los detalles de la composición química, el tratamiento térmico y las

propiedades mecánicas tienen que estar presentados para aprobarlos.

- 3.2.2.3. Cuando se proponga utilizar un material con mayor resistencia a la tensión, todos los detalles tienen que estar presentados para aprobarlos.

3.3. Diseño y Construcción

3.3.1. General

- 3.3.1.1. 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.
- 3.3.1.2. 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 adyacentes 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 casquillos, carcasas y tuberías de vapor. Las aberturas de los drenajes y tuberías provenientes de las cavidades de los deflectores serán suficientemente grandes para prevenir una acumulación en caso de fuga de aceite.

3.3.2. Componentes Soldados

- 3.3.2.1. Los rotores de las turbinas, cilindros y componentes asociados fabricados mediante soldadura se considerarán aceptados si son construidos por empresas que trabajen con los equipos adecuados y bajo la equivalente normativa, para rotores y cilindros respectivamente, lo requerido en "Rules for Class 1 and Class 2/1 welded pressure vessels" dispuesto en el capítulo 17, de la sección 1 a la 8.

- 3.3.2.2. Antes de que el trabajo sea empezado, los fabricantes tendrán que someterse a las consideraciones de los procedimientos de soldadura y a los rutinarios exámenes de juntas con ensayos no destructivos.
- 3.3.2.3. Los materiales usados para la construcción de rotores de turbinas, cilindros, diafragmas, condensadores, etc., serán de calidad soldada.
- 3.3.2.4. Donde se proponga construir rotores a partir de dos o más componentes unidos por soldadura, todos los detalles de la composición química, propiedades mecánicas y tratamiento térmico de los materiales, todo junto con las particularidades de los consumibles de soldadura, un resumen del procedimiento de soldadura, método de fabricación y tratamiento térmico, se tendrán en consideración.
- 3.3.2.5. Las juntas en rotores y juntas mayores en cilindros serán diseñadas con plena dureza y para la fusión completa de la junta.
- 3.3.2.6. El adecuado precalentamiento será empleado para cilindros de aceros dulces y componentes y cuando el grosor del metal exceda de 44 mm, y para todos los cilindros de bajas aleaciones de acero y componentes y para cualquier parte donde se necesite una junta de fijación.
- 3.3.2.7. El tratamiento térmico para aliviar esfuerzos será aplicado a todos los cilindros y componentes asociados al final de la soldadura de todas las juntas y estructuras adjuntas. Para ver los detalles del tratamiento térmico para aliviar esfuerzos, temperatura y duración, ver capítulo 17, 8.2.
- 3.3.2.8. El tratamiento térmico de los rotores soldados será llevado a cabo como está aprobado.
- 3.3.2.9. Los inspectores estarán satisfechos con la calidad deseada de la soldadura lograda con el procedimiento y equipos necesarios y, por esta razón, las muestras representativas de las juntas soldadas serán proporcionadas para el examen radiográfico y pruebas mecánicas.

- 3.3.2.10. Para los cilindros, las pruebas mecánicas de las juntas a tope están incluidas tensión, doblado y macropruebas detalladas en el capítulo 17, desde la sección 1 hasta la 8.
- 3.3.2.11. Para los diafragmas, toberas planas, etc., las muestras representativas serán seccionadas y macrograbadas.
- 3.3.2.12. Para los rotores, las pruebas mecánicas incluirán tensión (todo el metal soldado), tensión (en juntas), doblado (transversal), doblado (longitudinal) y macropruebas como están detalladas en el capítulo 17, desde la sección 1 hasta la 8, o como otras pruebas que puedan ser aprobadas.
- 3.3.2.13. En producción posterior, la comprobación de las pruebas de la soldadura serán llevadas a cabo con la discreción de los inspectores.

3.3.3. Incrementadores de esfuerzos

- 3.3.3.1. Las soldaduras en filetes lisos serán sometidas a cambios bruscos de sección en rotores, husillos, discos, raíces de los álabes y espigas. Los agujeros para remaches para las envolventes de los álabes serán rodeadas y comprobados sus radios en la parte superior e inferior de las caras, y en las espigas serán comprobados sus radios en sus juntas con las puntas de los álabes. Los agujeros de balance en discos serán soldados alrededor y pulidos.
- 3.3.3.2. Los inspectores verificarán el trabajo y la soldadura de los álabes a las bandas envolventes, y que las espigas de los álabes están libres de grietas, particularmente con los álabes de materiales de alta tensión. Las muestras serán seccionadas y examinadas, y se llevarán a cabo pruebas que deberán ser consideradas por los inspectores.

3.3.4. Discos montados en el rotor

- 3.3.4.1. Los discos del rotor montados en la turbina principal serán asegurados con chavetas, clavijas u otros métodos aprobados.

3.3.5. Vibraciones

- 3.3.5.1. Se tiene que tener cuidado en el diseño y fabricación de los rotores de las turbinas, discos del rotor y álabes para asegurarse que quedan libres de vibraciones excesivas dentro del rango de velocidades de operación. Ha de tenerse en cuenta las vibraciones en los álabes como efecto de la fuerza centrífuga, la fijación de las raíces de los álabes, temperaturas de los metales y flexibilidad de los discos donde sea apropiado.
- 3.3.5.2. Para las vibraciones y alineamiento de los sistemas de propulsión principal formados por turbinas engranadas a la línea de ejes, ver capítulo 8.

3.3.6. Influencias Externas

- 3.3.6.1. Las tuberías y conductos conectados a la carcasa de la turbina serán diseñados para que las cargas de empuje y los momentos aplicados no sean excesivos para la turbina. Las rejas y cualquier accesorio para los soportes deslizantes o soportes de placas flexibles serán colocados para que la expansión de la carcasa no esté restringida. Cuando los soportes de la turbina principal estén incorporados a un tanque estructural, se tendrá en cuenta que las variaciones de temperaturas en el tanque en servicio no afectan de manera de una manera severa la alineación de la turbina.

3.3.7. Alimentación de vapor y sistema de agua

- 3.3.7.1. En los planos del sistema de sellado de las cajas estancas, las tuberías tendrán que ser auto-drenables y tienen que tomarse todas las precauciones necesarias para que el vapor condensado no entre en las cajas estancas y en la turbina. La alimentación de vapor a través del sistema de caja estanca tendrá que estar montado con un purgador. En el eyector de aire para la recirculación del sistema de agua, la conexión al condensador estará localizada para que no pueda afectar al rotor o carcasa de la turbina de baja.

3.3.8. Virador

- 3.3.8.1. El virador de las turbinas de propulsión estarán operativos permanentemente.

3.4. Planos de Seguridad

3.4.1. Elementos de protección en caso de sobrecarga

- 3.4.1.1. La turbina principal y auxiliares deberán disponer de elementos de protección en caso de sobrecarga para el paro automático del suministro de vapor y prevenir que la velocidad máxima de diseño sea sobrepasada más de un 15 %.
- 3.4.1.2. Cuando dos o más turbinas formen parte de la instalación principal y estén acopladas de forma separada a la misma rueda de engranaje y esté provista de un elemento de protección por sobrecarga, éste estará instalado en la parte delantera de la turbina de baja, además, en la plataforma de maniobra existirá un engranaje manual para el paro del vapor en caso de emergencia.

3.4.2. Reguladores de velocidad

- 3.4.2.1. 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.
- 3.4.2.2. Las turbinas auxiliares para mover generadores eléctricos se montarán con reguladores de velocidad los cuáles, estarán ajustados para controlar la velocidad dentro de un 10 % para una variación momentánea y un 5 % para una variación permanente cuando en plena carga aumente ésta repentinamente. Las variaciones de velocidad permanentes en máquinas de corriente alterna para operaciones de conexión en paralelo serán sincronizadas con una tolerancia de $\pm 0,5\%$.

3.4.3. Elementos de protección por poco vacío y sobrepresión

- 3.4.3.1. Las válvulas de desahogo de seguridad estarán al final del escape o en otras posiciones aprobadas en todas las turbinas principales, y la válvula que descargue fuera será visible y cautelosamente situada

si es necesario. Cuando se esté provisto un elemento de corte por bajo vacío, la válvula de desahogo de seguridad en turbinas de baja presión serán omitidas.

- 3.4.3.2. Las válvulas de desahogo de seguridad estarán al final del escape de las turbinas auxiliares y la válvula que descargue fuera será visible y cuidadosamente situada si es necesario. Los elementos de corte por bajo vacío y sobrepresión, estarán provistos en las turbinas auxiliares y no instalados en sus propios condensadores.

3.4.4. Purgadores en las conexiones de vapor

- 3.4.4.1. Antirretornos u otros medios, los cuáles prevengan el retorno de vapor y agua a las turbinas, estarán instalados en los purgadores en las conexiones de vapor.

3.4.5. Coladores de vapor

- 3.4.5.1. Los coladores de vapor estarán provistos cerca de las entradas de vapor para marcha avante y marcha atrás para las turbinas de alta presión, o de forma alternativa en las entradas de las válvulas de maniobra.

3.5. Planes de Emergencia

3.5.1. Fallo de Lubricación

- 3.5.1.1. Los planes estarán preparados para que el vapor para la propulsión en turbinas marcha avante sea cortado automáticamente en caso de fallo de presión en la lubricación; sin embargo, se tiene que poder llevar el vapor a la turbina para marcha atrás para usarlo como freno en caso de emergencia, ver capítulo 14 para alimentación de aceite en caso de emergencia.
- 3.5.1.2. Los planes para la turbina auxiliar serán para que se corte automáticamente la alimentación de vapor en caso de fallo en la presión de lubricación.

3.5.2. Barcos con un solo eje

3.5.2.1. En los barcos con un solo eje compuestos con instalaciones en la turbina principal con una o más turbinas acopladas por separado a la misma rueda de engranajes, los planes serán para que el vapor pueda ser mandado directamente desde la turbina de baja y desde la turbina de alta y baja para que al mismo tiempo puedan evacuar el vapor hacia el condensador. Los planes y los controles serán los adecuados para que ni la presión ni la temperatura puedan afectar a la turbina ni al condensador en este caso de emergencias.

3.5.3. Única Caldera Principal

3.5.3.1. Los barcos con intención de no tener un servicio restringido, equipados con turbinas de vapor y con una sola caldera principal, estarán provistos con los medios necesarios para asegurar la propulsión de emergencia en caso de fallo de la caldera principal.

3.6. Pruebas y Equipamiento

3.6.1. Pruebas de Estabilidad en Rotores de Turbinas

3.6.1.1. Todos los rotores sólidos forjados para turbinas de alta para propulsión principal donde la temperatura del vapor supere los 400 °C estarán sujetos a una prueba de estabilidad térmica. Este requisito será también aplicable a los rotores contruidos con dos o más componentes forjados y unidos con soldadura. La prueba se llevará a cabo en la forja o en los trabajos de construcción en alguna de estas situaciones:

- a) Después del tratamiento térmico y el maquinado basto de la forja.
- b) Después del maquinado final.
- c) Después del maquinado y colocación de álabes en el rotor.

La prueba de estabilización de temperatura no debe ser menor que 28°C por encima de la temperatura

máxima del vapor al que va a estar expuesto el rotor, ni superior a la temperatura de templado del rotor. Para más detalles sobre los procedimientos para las recomendaciones en pruebas y límites de aceptación, ver "Rules for Materials (Part 2)". Podrán ser adoptados otros procedimientos en pruebas si son aceptados.

- 3.6.1.2. Cuando los rotores de las turbinas principales están sujetos a pruebas de estabilidad térmica en forja y trabajos de construcción, los requerimientos precedentes son aplicables en ambas pruebas. No se requiere que los rotores de las turbinas auxiliares sean probados para estabilidad térmica, pero, si esta prueba se lleva a cabo, generalmente se aplicarán los requerimientos para los rotores de las turbinas principales.

3.6.2. Equilibrado

- 3.6.2.1. Todos los rotores cuando estén con todos los álabes montados y con medio acoplamiento será dinámicamente equilibrado con la acreditación de un inspector, con una máquina con la precisión adecuada para el tamaño del rotor.

3.6.3. Pruebas Hidráulicas

- 3.6.3.1. Las válvulas de maniobra tienen que ser probadas a una presión del doble de su presión de trabajo. Las cajas estranguladoras de las turbinas de acción serán probadas a una presión de 1,5 veces superior a su presión de trabajo.
- 3.6.3.2. Los cilindros de todas las turbinas serán probados a una presión de 1,5 veces superior a su presión de trabajo en la carcasa.
- 3.6.3.3. Por cuestión de pruebas, los cilindros serán subdivididos en diafragmas temporales para la distribución de las pruebas de presión.
- 3.6.3.4. Los condensadores serán probados en un rango de vapor de 1,0 bar. El rango de agua será probado a la máxima presión que la bomba pueda desarrollar con el calado máximo del barco y con la válvula de descarga cerrada más 0,7 bar, con una prueba de 2,0 bar mínimo. Cuando no se conozcan las condiciones

de operación, la prueba de presión no será menor que 3,4 bar, ver capítulo 14.

3.6.4. Indicadores de Movimiento

- 3.6.4.1. Los indicadores que determinan el movimiento axial del rotor relativo a las carcasas, y que muestran la expansión longitudinal en los soportes deslizantes, si están instalados y operativos en las turbinas principales. Los últimos indicadores deberían estar instalados en ambos lados y ser realmente visibles.

3.6.5. Valores de desgaste

- 3.6.5.1. Las turbinas principales y auxiliares estarán provistas del sistema para verificar la alineación de los rotores.

Referencias Cruzadas

Los planos de bombas, incluidos los de agua de refrigeración y los sistemas de aceite de lubricación, cumplirán con los requerimientos de los capítulos 13 y 14 de las normas.

Para las listas de respetos para engranajes que tienen que llevarse, ver capítulo 16 de lasa normas.

4. PRINCIPALES FALLOS/PROBLEMAS Y TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO

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 a prueba de operadores.

4.1. Fallos/Problemas Graves

4.1.1. Alto nivel de vibraciones

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

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

- Análisis de parámetros de funcionamiento.

4.1.3. Fallos diversos de la instrumentación

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

4.1.4. Vibración en reductor o alternador

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

4.1.5. Fugas de vapor

- Inspección termográfica

4.1.6. Funcionamiento incorrecto de la válvula de control

- Análisis de parámetros de funcionamiento

4.1.7. Dificultad o imposibilidad de la regulación de la velocidad

- Análisis de parámetros de funcionamiento

4.1.8. Bloqueo del rotor por curvatura del eje

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

4.1.9. Gripaje del rotor

- Análisis de parámetros de funcionamiento, comprobar el estado del aceite, temperatura, presión y análisis para detectar posible contaminación.

4.2. **Detección de Fallos/Problemas a partir de las vibraciones**

La vibración en una turbina de vapor no es una avería en sí misma, sino un síntoma 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 parada ésta antes de que lleguen a producirse graves daños.

La vibración tiene muy diversas causas, por lo que cuando 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 altos. Normalmente, detrás de una avería grave de turbina suele estar una negligencia grave de operación y/o mantenimiento.

4.2.1. Mal estado de los sensores de vibración o de las tarjetas acondicionadoras de señal. Es posible que lo que estamos 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 del periodo anterior a éste (quizás 2-4 horas antes). 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 espúrea provocada por el mal estado del sensor o por la influencia de un elemento externo que está provocando una alteración en la medición.

- 4.2.2.** Desalineación entre turbina y caja de engranajes des multiplicadora (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.
- 4.2.3.** Mal estado del acoplamiento elástico entre turbina y des multiplicador (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.
- 4.2.4.** Mal estado del acoplamiento des multiplicador-eje de cola. Este es un caso típico de vibración inducida por un equipo/elemento externo a la turbina pero unido a ésta. La vibración no es realmente de la turbina, sino que proviene de una causa

externa. Igual que en el caso anterior, es conveniente realizar inspecciones visuales periódicas del acoplamiento y vigilar la evolución del nivel de vibración.

- 4.2.5.** Problema en la lubricación de los cojinetes, que 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: una bomba mecánica cuya fuerza motriz la proporciona el propio eje de la turbina; una bomba de prelubricación, 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 eje de forma bastante rápida.
- 4.2.6.** 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.
- 4.2.7.** Los tres cojinetes de los que suele disponer una turbina de vapor que también pueden ser usadas en plantas de cogeneración (delantero, trasero o de empuje o axial) sufren un desgaste con el tiempo, aún con una lubricación perfecta. Estos cojinetes están recubiertos de una capa de material antifricción, que es la que se pierde. Por esta razón, es necesario medir periódicamente las holguras entre eje y cojinetes, y el desplazamiento del eje, para comprobar que los cojinetes aún están en condiciones de permitir un funcionamiento correcto de la turbina. Estas tolerancias están

indicadas siempre en el libro de operación y mantenimiento que el fabricante entrega, y es necesario respetar los intervalos de medida de estas holguras y el cambio si esta comprobación revela la existencia de un problema. El adecuado mantenimiento del sistema de lubricación contribuye de una manera innegable a alargar la vida de estos cojinetes, y de la misma forma, un mantenimiento incorrecto del aceite, sus presiones y sus caudales provocan una degradación acelerada de éstos.

- 4.2.8.** Mal estado del eje en la zona del cojinete. 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 eje. Si uno y otro rozan en algún momento, es posible que este último presente arañazos o marcas que provocarán vibraciones y pueden dañar el nuevo cojinete. En caso de detectarse daños en el eje, 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.
- 4.2.9.** 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. Posteriormente a la limpieza, será necesario realizar un equilibrado dinámico de la turbina.

- 4.2.10.** Desequilibrio en el rotor por rotura de un álabe. No es frecuente, pero si una partícula extraña entra la turbina y golpea un álabe puede provocar una pérdida de material o un daño que afectará al equilibrado del rotor. Para evitarlo, se colocan unos filtros que retienen objetos de cierto tamaño que puedan estar en circulación por las tuberías de vapor. Si este filtro está dañado o se ha retirado, partículas grandes podrían dañar los álabes. La reparación significa sustituir los álabes dañados, realizar una limpieza interior de la turbina y equilibrar. Se trata de una avería cara. Para evitarla, hay que asegurarse de que no puede desprenderse ningún elemento que pueda estar en circulación por las tuberías de vapor y que el filtro de vapor se encuentra en condiciones de realizar perfectamente su función. Es conveniente realizar inspecciones visuales con la ayuda de un endoscopio, para poder observar el estado de la superficie de los álabes sin necesidad de desmontar la carcasa de la turbina.

En otras ocasiones el daño en álabes puede estar provocado por roce entre éstos y partes fijas de la turbina. En estos casos el origen del fallo pudo ser el mal estado de cojinetes de apoyo o de empuje que hicieron que la posición del eje rotor estuviera fuera de su especificación. El síntoma que revela este problema es un alto nivel de vibraciones.

- 4.2.11.** Desequilibrio en rotor por mal equilibrado dinámico, o por pérdida o daño en algún elemento que gira (tornillos, arandelas, tuercas). El desequilibrio puede ser un fallo de origen (el equilibrado inicial de la turbina fue deficiente) o puede ser un fallo sobrevenido. En ese segundo caso, es importante que al efectuar reparaciones en el rotor de la turbina no quede ningún elemento sin montar o montado de forma inadecuada. Es incluso conveniente numerar los tornillos y arandelas que se desmontan para montarlos exactamente igual. Si es el eje el que está dañado, hay que reparar el daño aportando material, rectificando, limpiando, lijando, etc. Es conveniente tener un espectro de vibraciones

desde la puesta en servicio del equipo. Este primer espectro será de gran utilidad, y siempre será una referencia para saber si hay problema inicial o sobrevenido.

- 4.2.12.** Curvatura del rotor debido a una parada en caliente con el sistema virador parado. Las turbinas de vapor están equipadas con un sistema virador que facilita que el eje no se curve cuando está caliente. La misión de este sistema es redistribuir los pesos uniformemente sobre el eje de rotación, y evitar curvaturas que desequilibrarían el rotor. Si la turbina se para en caliente y el sistema virador no entra en marcha es posible que el eje se curve hacia arriba. 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.
- 4.2.13.** Eje curvado de forma permanente. El eje 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 equilibrado 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.
- 4.2.14.** Fisura en el eje. En ocasiones, un defecto superficial del eje avanza y termina convirtiéndose en una fisura o grieta, que provoca un desequilibrio en el eje. Puede ocurrir por un defecto de fabricación del eje (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 saneamiento, aportación de material, rectificado y tratamiento de alivio de tensiones. Será necesario volver a realizar un

equilibrado del eje. 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.

- 4.2.15.** Corrosión o incrustaciones en el eje, 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, en el agua del calderín y en el vapor.
- 4.2.16.** 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.
- 4.2.17.** Defecto en la bancada. 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.

- 4.2.18.** 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.
- 4.2.19.** 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.

5. 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.

5.1. Mantenimiento Operativo Diario

- 5.1.1.** Comprobación de alarmas y avisos
- 5.1.2.** 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.
- 5.1.3.** 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

5.2. Mantenimiento Quincenal

- 5.2.1.** Inspección visual completa de la turbina
- 5.2.2.** Inspección de fugas de aceite
- 5.2.3.** Limpieza de fugas de aceite si procede
- 5.2.4.** Inspección de fugas de vapor
- 5.2.5.** Inspección de fugas de agua de refrigeración
- 5.2.6.** Medición de la amplitud de vibración

- 5.2.7. Inspección visual de la bancada
- 5.2.8. Medida de agua en el aceite de lubricación
- 5.2.9. Inspección visual del grupo hidráulico de aceite de control
- 5.2.10. Inspección visual del sistema de eliminación de vahos

5.3. Mantenimiento Mensual

- 5.3.1. Toma de muestra de aceite para análisis
- 5.3.2. Purga de agua del aceite
- 5.3.3. Comprobación de lubricación de reductor y de alternador
- 5.3.4. Análisis del espectro de vibración en turbina, reductor y alternador, a velocidad nominal
- 5.3.5. Comprobación funcionamiento parada de emergencia

5.4. Revisión anual

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.

- 5.4.1. Análisis del espectro de vibración de turbina, reductor y alternador, a distintas velocidades y en regímenes transitorios.
- 5.4.2. Inspección endoscópica de álabes.
- 5.4.3. 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.

- 5.4.4.** 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.
- 5.4.5.** Cambio de filtros de aceite. Esto garantiza el buen estado del aceite y la filtración de partículas extrañas.
- 5.4.6.** 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.
- 5.4.7.** Inspección del grupo hidráulico. Cambio de filtros y de aceite, si procede.
- 5.4.8.** 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.
- 5.4.9.** 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.
- 5.4.10.** 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.
- 5.4.11.** 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.

- 5.4.12.** 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.
- 5.4.13.** Inspección visual de los sellos laberínticos, por si se hubieran dañado desde la última inspección.
- 5.4.14.** 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.
- 5.4.15.** Limpieza y mantenimiento del cuadro de control. Curiosamente, muchas averías en sistemas eléctricos y electrónicos están causados por la suciedad. Mantener los cuadros en su correcto estado de limpieza garantiza la ausencia de estos problemas.
- 5.4.16.** 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.
- 5.4.17.** Prueba de potencia. Al finalizar la inspección será conveniente comprobar las prestaciones de la turbina, especialmente la potencia máxima que es capaz de alcanzar.

5.5. 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 en Mayores y Menores, las cuáles se llevan a cabo según las horas de operación o según la periodicidad en años de funcionamiento, en buques suele coordinarse principalmente con las revisiones cuatrienales de recertificación. En la siguiente tabla se puede ver cada cuantas horas o años se llevará a cabo una revisión Mayor o Menor.

EOH (equivalent operating hours)	Periodicidad en años	Tipo de Revisión
10.000	Máximo en 4	Menor
25.000	Máximo en 8	Menor
50.000	Máximo en 15	Mayor
75.000	Máximo en 20	Menor
100.000	Máximo en 25	Mayor

5.5.1. Revisión Menor

- 5.5.1.1. Abertura de la carcasa de la turbina, si procede.
- 5.5.1.2. Inspección visual de las últimas etapas de la turbina de baja presión.
- 5.5.1.3. Inspección endoscópica de las partes accesibles.
- 5.5.1.4. Inspección de todos los cojinetes.
- 5.5.1.5. Inspección de la concentricidad de los acoplamientos.
- 5.5.1.6. Comprobación y calibración de los elementos de seguridad.
- 5.5.1.7. Comprobación, ajuste y calibración de los elementos del sistema de control.
- 5.5.1.8. Comprobación de las bombas de aceite de lubricación y control y sus respectivos sistemas.
- 5.5.1.9. Inspección de las válvulas de vapor.
- 5.5.1.10. Inspección de los sistemas de calentamiento, llenado y condensación.

5.5.2. Revisión Mayor

- 5.5.2.1. Todas las inspecciones y comprobaciones de la revisión menor.
- 5.5.2.2. Abrir la carcasa de la turbina o carcasas en caso de tener diferentes cilindros.
- 5.5.2.3. Inspección de los álabes.

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

5.5.2.5. Inspección del rotor.

6. 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.

6.1. Mantenimiento Operativo Diario

Los trabajos de mantenimiento operativo diario, son trabajos rutinarios, realizados en cada guardia de navegación, las cuales tienen una duración de 4 horas, comprendiendo limpiezas superficiales, seguimiento de los parámetros de funcionamiento, termotécnicos y de seguridad.

6.2. Mantenimiento Quincenal

Estas tareas serán como las del mantenimiento diario pero un poco más extensas, su programación se verá implicada según la disponibilidad de los oficiales de máquinas y la operativa del buque en referencia a si está en puerto o navegando. Estos trabajos se organizarán considerando la disponibilidad del personal y su trabajo durante las guardias, comprendiendo limpiezas de mayor alcance, seguimiento y análisis de los parámetros de funcionamiento, termotécnicos y de seguridad.

6.3. Mantenimiento Mensual

- 6.3.1. Toma de muestra de aceite para análisis, 20 minutos para extracción antes de la llegada a puerto y análisis externalizado
- 6.3.2. Purga de agua del aceite, no debería llevar más de 30 minutos previo a la puesta en marcha
- 6.3.3. Comprobación de lubricación de reductor y de alternador, no debería llevar más de 30 minutos.

- 6.3.4.** 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.
- 6.3.5.** Revisión y prueba del sistema de parada del sistema de parada de emergencia, que no ha de durar más de 15 minutos, aprovechando la maniobra de llegada a la terminal

6.4. Revisión anual

- 6.4.1.** Análisis del espectro de vibración de turbina, reductor y alternador, a distintas velocidades y en regímenes transitorios. El registro y el análisis, si se automatiza o monitoriza puede realizarse en 1 día (8 horas) o tardar 3 días (24 horas) si se hace manualmente.
- 6.4.2.** Inspección endoscópica de álabes. Ha de realizarse en puerto y puede llevar de 4 horas, pero si se monitoriza mediante el seguimiento del análisis de vibraciones puede hacerse en continuo y aplazar la inspección visual a realizarla cada cuatro años u ocho.
- 6.4.3.** 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 en el punto 6.4.1 para no tener que consumir tiempo en desmontar para realizar esta inspección.
- 6.4.4.** 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.

- 6.4.5.** 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.
- 6.4.6.** 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 1 hora.
- 6.4.7.** 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.
- 6.4.8.** 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.
- 6.4.9.** 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. Puede planificarse en base al análisis de vibraciones, se prevé una duración de 2 horas.
- 6.4.10.** 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. 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 propuesto en el punto 6.4.1 para no tener que consumir tiempo en realizar esta inspección a máquina parada.

- 6.4.11.** 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.
- 6.4.12.** 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 5 minutos a los 15 según el instrumento, asignando un tiempo total de 3 horas para verificar la calibración de los instrumentos.
- 6.4.13.** 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 2 horas por sello.
- 6.4.14.** 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 15 minutos.
- 6.4.15.** Limpieza y reapriete de componentes del cuadro de control. Curiosamente, muchas averías en sistemas eléctricos y electrónicos están causados por la suciedad. Mantener los cuadros en su correcto estado de limpieza garantiza la ausencia de estos problemas, se le asigna una duración de 1 hora.

- 6.4.16.** 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. Revisión completa del elemento motriz y el aislamiento eléctrico, se le asigna una duración de 1 hora.
- 6.4.17.** Prueba de potencia. Al finalizar la inspección será conveniente comprobar las prestaciones de la turbina, especialmente la potencia máxima que es capaz de alcanzar. Esta prueba, en instalaciones en tierra, es relativamente fácil de hacer, en buques es equivalente a la prueba de mar que se realiza después de la varada en la que se verifica el funcionamiento de toda la instalación, pero no siempre se realiza porque se suele ir con prisas para entrar en línea y no perder flete, en cuyo caso, al realizarse ya en navegación no consumirá tiempo de forma específica..

6.5. Revisiones Especiales

6.5.1. Revisión Menor (la duración será de 2 a 4 semanas de trabajo)

- 6.5.1.1. Abertura de la carcasa de la turbina, si procede.
- 6.5.1.2. Inspección visual de las últimas etapas de la turbina de baja presión. Se busca indicios de corrosión, cavitación u otros daños.
- 6.5.1.3. Inspección endoscópica de las partes accesibles.
- 6.5.1.4. 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.
- 6.5.1.5. Inspección de la concentricidad de los acoplamientos. Normalmente mediante palpadores.
- 6.5.1.6. Comprobación y calibración de los elementos de seguridad.
- 6.5.1.7. Comprobación, ajuste y calibración de los elementos del sistema de control.

- 6.5.1.8. Comprobación de las bombas de aceite de lubricación y control y sus respectivos sistemas.
 - 6.5.1.9. Inspección de las válvulas de vapor.
 - 6.5.1.10. Inspección de los sistemas de calentamiento, llenado y condensación.
- 6.5.2. Revisión Mayor (la duración será de 4 a 8 semanas de trabajo)**
- 6.5.2.1. Todas las inspecciones y comprobaciones de la revisión menor.
 - 6.5.2.2. Abrir la carcasa de la turbina o carcasas en caso de tener diferentes cilindros.
 - 6.5.2.3. Inspección de los álabes.
 - 6.5.2.4. Inspección completa de todos los acoplamientos, incluyendo la prueba de parada de emergencia por desplazamiento axial.
 - 6.5.2.5. Inspección del rotor. Visual o por líquidos penetrantes.

7. 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 esta tabla.

Trabajos	Duración	Periodicidad
5.1.1.	15 min	Diaria
5.1.2.	1 h	
5.1.3.	15 min	
5.2.1.	30 min	Quincenal
5.2.2.	15 min	
5.2.3.	15 min	
5.2.4.	15 min	
5.2.5.	15 min	
5.2.6.	30 min	
5.2.7.	15 min	
5.2.8.	30 min	
5.2.9.	30 min	
5.2.10.	15 min	
5.3.1.	20 min	Mensual
5.3.2.	30 min	
5.3.3.	30 min	
5.3.4.	30 min	
5.3.5.	15 min	
5.4.1.	8 horas	Anual
5.4.2.	4 h	
5.4.4.	4 h	
5.4.5.	1 h	
5.4.6.	1 h	
5.4.7.	1 h	
5.4.8.	30 min	
5.4.9.	2 h	
5.4.11.	1 h	
5.4.12.	3 h	
5.4.13.	2 h	
5.4.14.	15 min	
5.4.15.	1 h	
5.4.16.	1 h	
5.5.1.	2 a 4 semanas	Cuatrienal
5.5.2.	4 a 8 semanas	Máx. 15 años

7.1. 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 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 las guardias.

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 del buque.

La distribución de los trabajos quincenales se ha distribuido a 1 trabajo por día, con lo que al tener 10 trabajos quincenales nos coincide con el periodo de 2 semanas. Cabe mencionar que el trabajo 5.2.7 se ha adjuntado con el trabajo 5.2.4, este cambio se ha realizado para que ese día de esa semana se quede sin carga de mantenimiento quincenal y se puedan programar en ese día los trabajos de mantenimiento anual.

Para la distribución de trabajos mensuales al tener una carga de 5 trabajos, se han distribuido de forma que se realicen los diferentes trabajos cada cuatro días.

Y finalmente para los trabajos anuales, como se ha citado anteriormente, estos trabajos tienen un día asignado, ese día es el martes con una periodicidad de cuatro semanas. Los trabajos 5.4.8 y 5.4.7 se han unificado, igual que los trabajos 5.4.15 y 5.4.14, esta acción se debe que al ser trabajos de duración corta se unifiquen y de esta forma se pueda adelantar trabajo ya que pasamos de tener 16 trabajos a 12.

A continuación se mostrará la distribución de los trabajos quincenales, mensuales y anuales, los cuales están ordenados por semanas. Como sabemos un año tiene 52 semanas y los trabajos anuales están planificados para que en 48 semanas estén acabados, con lo que las cuatro semanas siguientes se seguirán haciendo los trabajos quincenales y mensuales y respecto al día reservado para el

trabajo anual se deja a disposición del jefe de máquinas para organizar posibles trabajos retrasados ya que a final de año suele ser habitual ir con prisas para poder cerrar todos los trabajos del año.

En las tablas que se muestran a continuación se han referenciado los trabajos por su codificación junto con su duración en minutos para cada día de la semana.

1ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
							5.2.7	15		
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales			5.3.1	20						
Anual										
Tiempo total	30		35		15		30		15	

2ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30			5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales	5.3.2	30							5.3.3	30
Anual			5.4.1	480						
Tiempo total	60		480		30		30		45	

3ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales							5.3.4	30		
Anual										
Tiempo total	30		15		15		45		15	

4ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30	5.2.7	15	5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales					5.3.5	15				
Anual										
Tiempo total	30		15		45		30		15	

5ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
							5.2.7	15		
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales			5.3.1	20						
Anual										
Tiempo total		30		35		15		30		15

6ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30			5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales	5.3.2	30							5.3.3	30
Anual			5.4.2	240						
Tiempo total		60		240		30		30		45

7ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales							5.3.4	30		
Anual										
Tiempo total		30		15		15		45		15

8ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30	5.2.7	15	5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales					5.3.5	15				
Anual										
Tiempo total		30		15		45		30		15

9ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
							5.2.7	15		
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales			5.3.1	20						
Anual										
Tiempo total		30		35		15		30		15

10ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30			5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales	5.3.2	30							5.3.3	30
Anual			5.4.4	240						
Tiempo total		60		240		30		30		45

11ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales							5.3.4	30		
Anual										
Tiempo total		30		15		15		45		15

12ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30	5.2.7	15	5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales					5.3.5	15				
Anual										
Tiempo total		30		15		45		30		15

13ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
							5.2.7	15		
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales			5.3.1	20						
Anual										
Tiempo total	30		35		15		30		15	

14ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30			5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales	5.3.2	30							5.3.3	30
Anual			5.4.5	60						
Tiempo total	60		60		30		30		45	

15ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales							5.3.4	30		
Anual										
Tiempo total	30		15		15		45		15	

16ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30	5.2.7	15	5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales					5.3.5	15				
Anual										
Tiempo total	30		15		45		30		15	

17ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
							5.2.7	15		
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales			5.3.1	20						
Anual										
Tiempo total		30		35		15		30		15

18ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30			5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales	5.3.2	30							5.3.3	30
Anual			5.4.6	60						
Tiempo total		60		60		30		30		45

19ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales							5.3.4	30		
Anual										
Tiempo total		30		15		15		45		15

20ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30	5.2.7	15	5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales					5.3.5	15				
Anual										
Tiempo total		30		15		45		30		15

21ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
							5.2.7	15		
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales			5.3.1	20						
Anual										
Tiempo total		30		35		15		30		15

22ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30			5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales	5.3.2	30							5.3.3	30
			5.4.8	30						
Anual			5.4.7	60						
Tiempo total		60		90		30		30		45

23ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales							5.3.4	30		
Anual										
Tiempo total		30		15		15		45		15

24ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30	5.2.7	15	5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales					5.3.5	15				
Anual										
Tiempo total		30		15		45		30		15

25ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
							5.2.7	15		
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales			5.3.1	20						
Anual										
Tiempo total	30		35		15		30		15	

26ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30			5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales	5.3.2	30							5.3.3	30
Anual			5.4.9	120						
Tiempo total	60		120		30		30		45	

27ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales							5.3.4	30		
Anual										
Tiempo total	30		15		15		45		15	

28ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30	5.2.7	15	5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales					5.3.5	15				
Anual										
Tiempo total	30		15		45		30		15	

29ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
							5.2.7	15		
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales			5.3.1	20						
Anual										
Tiempo total	30		35		15		30		15	

30ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30			5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales	5.3.2	30							5.3.3	30
Anual			5.4.11	60						
Tiempo total	60		60		30		30		45	

31ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales							5.3.4	30		
Anual										
Tiempo total	30		15		15		45		15	

32ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30	5.2.7	15	5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales					5.3.5	15				
Anual										
Tiempo total	30		15		45		30		15	

33ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
							5.2.7	15		
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales			5.3.1	20						
Anual										
Tiempo total		30		35		15		30		15

34ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30			5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales	5.3.2	30							5.3.3	30
Anual			5.4.12	180						
Tiempo total		60		180		30		30		45

35ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales							5.3.4	30		
Anual										
Tiempo total		30		15		15		45		15

36ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30	5.2.7	15	5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales					5.3.5	15				
Anual										
Tiempo total		30		15		45		30		15

37ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
							5.2.7	15		
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales			5.3.1	20						
Anual										
Tiempo total		30		35		15		30		15

38ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30			5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales	5.3.2	30							5.3.3	30
Anual			5.4.13	120						
Tiempo total		60		120		30		30		45

39ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales							5.3.4	30		
Anual										
Tiempo total		30		15		15		45		15

40ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30	5.2.7	15	5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales					5.3.5	15				
Anual										
Tiempo total		30		15		45		30		15

41ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
							5.2.7	15		
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales			5.3.1	20						
Anual										
Tiempo total		30		35		15		30		15

42ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30			5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales	5.3.2	30							5.3.3	30
			5.4.14	15						
Anual			5.4.15	60						
Tiempo total		60		75		30		30		45

43ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales							5.3.4	30		
Anual										
Tiempo total		30		15		15		45		15

44ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30	5.2.7	15	5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales					5.3.5	15				
Anual										
Tiempo total		30		15		45		30		15

45ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
							5.2.7	15		
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales			5.3.1	20						
Anual										
Tiempo total	30		35		15		30		15	

46ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30			5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales	5.3.2	30							5.3.3	30
Anual			5.4.16	60						
Tiempo total	60		60		30		30		45	

47ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales							5.3.4	30		
Anual										
Tiempo total	30		15		15		45		15	

48ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30	5.2.7	15	5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales					5.3.5	15				
Anual										
Tiempo total	30		15		45		30		15	

49ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
							5.2.7	15		
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales			5.3.1	20						
Anual										
Tiempo total		30		35		15		30		15

50ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30			5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales	5.3.2	30							5.3.3	30
Anual										
Tiempo total		60		0		30		30		45

51ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.1	30	5.2.2	15	5.2.3	15	5.2.4	15	5.2.5	15
Mensuales							5.3.4	30		
Anual										
Tiempo total		30		15		15		45		15

52ª Semana

	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Quincenales	5.2.6	30	5.2.7	15	5.2.8	30	5.2.9	30	5.2.10	15
Mensuales					5.3.5	15				
Anual										
Tiempo total		30		15		45		30		15

A continuación se muestra la duración de los trabajos en periodos de 4 semanas, su duración es en minutos.

Periodos de 4 Semanas	Duración (min)
1º	1025
2º	785
3º	785
4º	605
5º	605
6º	635
7º	665
8º	605
9º	725
10º	665
11º	620
12º	605
13º	545
Tiempo estimado anual	8870

Este valor vendría a ser de casi 148 horas de mantenimiento anual planificado dedicadas al mantenimiento exclusivo de la turbina, quedando excluidas las revisiones especiales que deberán realizarse aprovechando la entrada cuatrienal en dique seco.

8. CONCLUSIONES:

En este proyecto se ha propuesto un plan de mantenimiento alternativo al actualmente realizado para una turbina de vapor para propulsión principal de un buque que transporta gas natural licuado teniendo en cuenta el plan de explotación del buque.

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

También se ha analizado la normativa del “Lloyd’s Register” referente a las turbinas de vapor para definir los elementos y parámetros a mantener e inspeccionar.

Normalmente el buque tomado como referencia realiza transporte tramp, con lo que, la realización de algunos trabajos dependerá de si se está navegando o en puerto, es por ello que el jefe de máquinas tendrá que adaptar la planificación al estado y a la operativa del buque.

La planificación de los trabajos se ha establecido en una base temporal quincenal a fin de adaptarse mejor a la condición operativa del buque 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 de propulsión, quedando exentos los trabajos de mantenimiento correctivo que puedan surgir respecto de las turbinas y el resto de los equipos que conforman el buque que también han de ser mantenidos.

Este proyecto me ha aportado nuevos conocimientos y a mi entender de gran utilidad ya que este tipo de máquinas están presentes en muchos sitios en la vida cotidiana, no sólo en los buques y por desgracia hay muy pocos profesionales con conocimientos y experiencia en ellas. Espero en un futuro llegar a ser uno de ellos ya que son unos grandes profesionales.

9. BIBLIOGRAFÍA

R. Coats, C. Eng., F.I. Mar. E., M.I.Mech. E., M.R.I.N.A., M.I. World, M.N.E.C.I.E.S., Marine Steam Turbines, London: The Institute of Marine Engineers, volume 1, part 8 ,1975, ISBN: 0900976411.

Everett C. Hurt, Modern Engineer's Manual, third edition. Centreville, Maryland: Cornell Maritime Press, 1999, ISBN: 0-87033-496-4.

Lloyd's Register. Rules and Regulations for the Classification of Ships. July 2005. Part 5, Main and Auxiliary Machinery. London: EC3M4BS. Disponible a: <www.lr.org>.

International Association of Engineering Insurers 38th Annual Conference. Maintenance and Overhaul of Steam Turbines. [Consulta 14-11-10]. Disponible a: <www.imia.com>

David Balevic, Robert Burger, David Forry. Heavy-Duty Gas Turbine Operating and Maintenance Considerations. General Electric Energy. [Consulta 14-11-10]. Disponible a: <www.gepower.com>

Michael Killich. Operational Flexibility for Steam Turbines based on Service Contracts with Diagnostics Tools. Siemens Power Generation, Germany Power Gen Europe 2006 Cologne. [Consulta 14-11-10]. Disponible a: www.energy.siemens.com

Vanessa Bauch, Michael Killich. Power Diagnostics Service for steam turbines and generators. Siemens Power Generation Germany. [Consulta 14-11-10]. Disponible a: www.energy.siemens.com

Milan Korista, Lenka Kuchtova, Don Haswell, Jaroslav Lahoda. Highest Output of Geared Industrial Steam Turbine: Product Line SST-400-Experience, future trends and application in Combined Cycles. Siemens Industrial Turbomachinery. [Consulta 14-11-10]. Disponible a: www.energy.siemens.com

Everet B. Noodruft; Herbert B. Lammers; Thomas F. Lammers. Steam Plant Operation. 7th ed. McGraw-Hill. New York. 1998.

Santiago García; Pablo Raria; Jorge Perea. Operación y Mantenimiento de Centrales de Ciclo Combinado. Ed Diaz de Santos. Madrid. 2008

B.K.N. Rao. Handbook of Condition Monitoring. Elsevier Advanced Technology. Oxford. UK. 1996

Benkovsky, D; Galver, , G; Korobtsow, I; Oganerow, G. Technology of Ship Repairing. Ed Mir Publishers. Moscow. 1976.