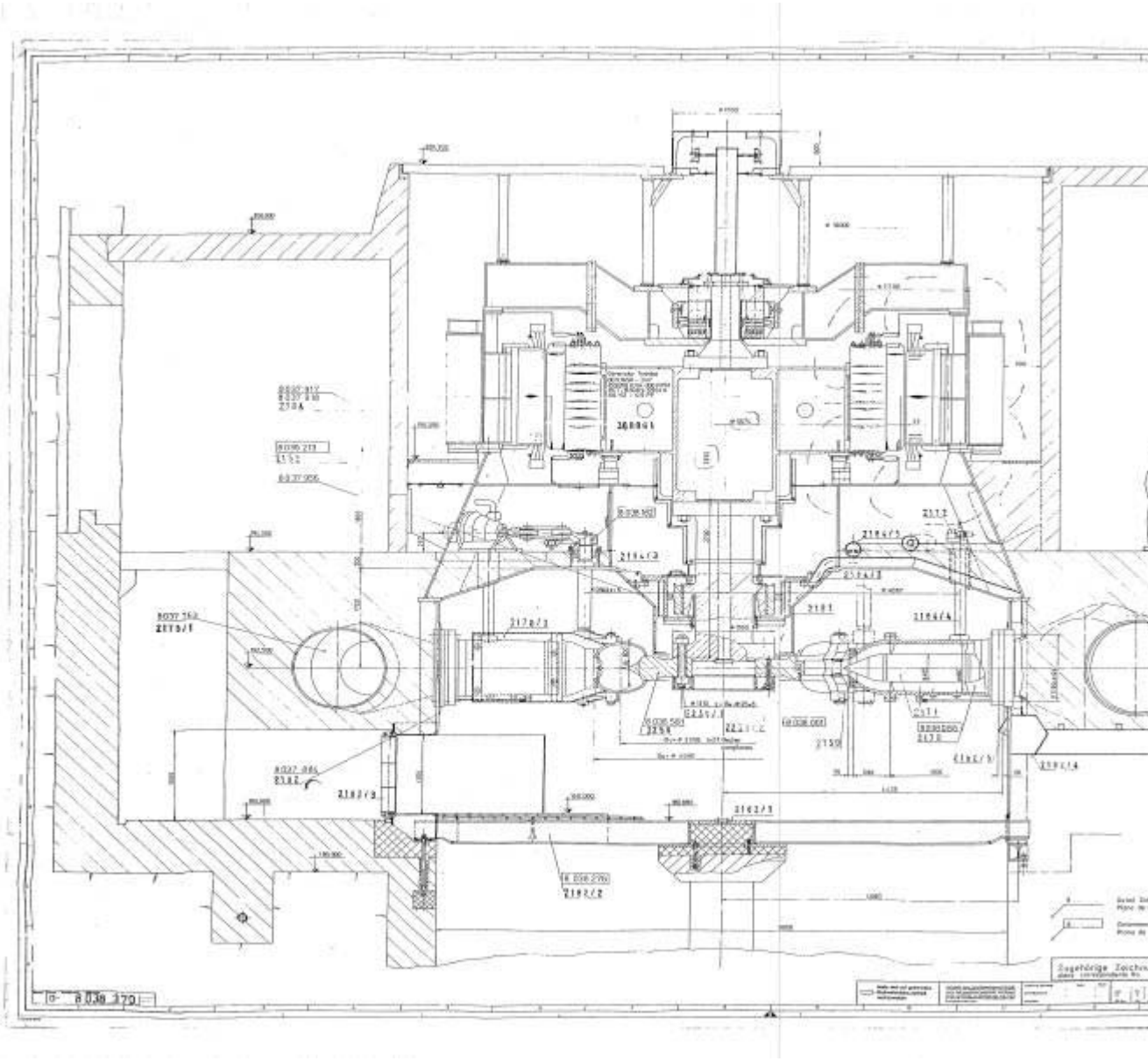
http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articuloses/maquinashidraulicas/turbinas_o_y_m/turbinas_o_y_m.htm

Operación y mantenimiento de turbinas

Entre los equipos más complejos y costosos que se utilizan en la generación de energía se encuentran las turbomáquinas, particularmente las turbinas. Su operación debe vigilarse de manera continua tanto para detectar fallas potenciales o incipientes como para programar su mantenimiento, a fin de aumentar su confiabilidad, disponibilidad y vida útil. También resulta crucial que las tares de mantenimiento de este tipo de equipos se efectúen con rapidez para reanudar lo antes posibles la generación de energía.

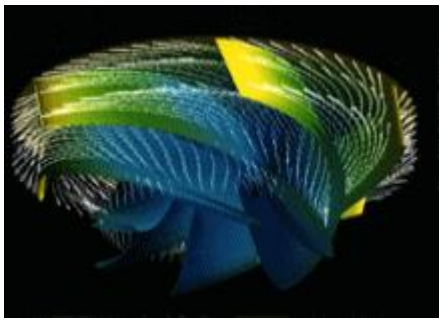
El sistema de eléctrico de un país cuanto con varias plantas de generación de generación de energía de diferentes tipos y capacidades. Cada una de ellas incluye una gran cantidad de equipos rotatorios, que enfrentan diversos problemas que hacen necesario mejorar las prácticas de operación y mantenimiento. Algunos problemas que se pueden mencionar son la reducción de los recursos necesarios para el mantenimiento de las plantas existentes y para la construcción de nuevas, la vida útil de diseño de los equipos principales, deterioro de las turbinas debido al fenómeno de cavitación y la demanda de energía.

Estudios realizados en Estados Unidos indican que el costo de mantenimiento representan entre un 15% y 40% de los costos totales de la producción de las centrales de generación típicas. Otras estadísticas revelan que de 10% a 300% de todo el tiempo perdido en las plantas de generación se debe a fallas en los equipos rotatorios. Son estas algunas razón por las que es de suma importancia conocer los mecanismos de deterioro que sufre un generador para tomar medidas correctivas que detengan el proceso, con el fin de evitar daños catastróficos que impliquen salidas no programadas para dar mantenimiento, que finalmente reducen la eficiencia y afecta la disponibilidad de energía. En este articulo se discuten algunos mecanismos de deterioro que se han encontrado en el estator (devanado y núcleo) y el rotor de generadores por el proceso natural de envejecimiento y por operación anormal.



Rendimiento de una turbina

El rendimiento o eficiencia de una turbina se define como el cociente entre la energía producida por la misma y la energía disponible. Básicamente consiste en la medida de los diferentes parámetros que definen el rendimiento de una turbina, esto es: caudal, potencia en el eje y salto neto. De estos el más importante puede decirse es el caudal, el cual puede determinarse utilizando diferentes métodos entre los que se pueden mencionar los absolutos del diagrama de tiempo – presión (método de Gibson) y de ultrasonido, y el relativo de Winter – Kennedy. La elección del método de medida dependerá de las características de la instalación, de los pasajes hidráulicos de la turbina, del salto, etc.



Múltiples son las razones que hacen necesario la realización de ensayos de rendimiento, la importancia relativa de la misma dependerá de las condiciones especificas de la maquina, de las peculiaridades de la instalación, del tipo de explotación, etc. No obstante se pueden resumir a grandes rasgos:

- Verificar que se cumplen las garantías contractuales ofrecidas por el fabricante, comprobando que la potencia garantizada se consigue sin penalizar el rendimiento, esto es, mediante un caudal turbinado no mayor que el especificado.

- Valorar la posibilidad de un incremento de la energía producible acometiendo el cambio de rodete de la turbina.

- Controlar la perdida de rendimiento de la instalación a lo largo de los años.

- Determinar las perdidas de salto que se producen en los diferentes elementos de la instalación (conducción forzada, válvulas, desagüe, etc.).

Es aconsejable que los ensayos de rendimiento los realice una compañía independiente, la cual garantice los resultados obtenidos, acabando así con la practica de que sea el propio fabricante de la turbina el que lo realice. El personal que realice tanto los ensayos como el informe final debe tener la preparación y experiencia suficiente.

Recepción de la máquina

Los ensayos de recepción de la maquina tiene como fin verificar el cumplimiento de las condiciones contractuales que atañen a los equipos, turbina – alternador en este caso, así como determinar la presencia de daños, defectos o vicios ocultos que puedan afectar la unidad desde el momento de su puesta en servicio. Consiste básicamente en verificar el comportamiento dinámico de una serie de parámetros, ligados al funcionamiento de la unidad y que definen las condiciones del conjunto turbina – alternador.

Las pruebas de vibraciones a realizar dentro de los ensayos de comportamiento dinámico son conformes a la norma IEC 994 “Guide for field measurement of vibratrions and pulsations in hydraulic machines (turbines, storage pumps and pump –

turbines)". El ensayo comprende una serie de pruebas en régimen estabilizado con porcentajes de carga de 25%, 50%, 75% y 100%, adicionalmente pruebas de la maquina girando en vació y excitada sin acoplar. También régimen transitorio donde se incluyen disparo con los porcentajes citados y los transitorios de arranque, parada y cambios de carga.

Equilibrado de generadores

El desequilibrio de un rotor es el resultado de una distribución másica desigual en el mismo, lo cual produce vibraciones. Estas vibraciones, que se deben a la interacción entre la componente másica desequilibrada y la aceleración radial debida al giro, las cuales conjuntamente generan una fuerza centrípeta, se transmiten a los cojinetes del rotor, de tal forma que cualquier punto de los mismos experimenta una fuerza radial por revolución.

En un grupo hidroeléctrico los componentes susceptibles de presentar desequilibrio másico son: el rodete de la turbina hidráulica, el rotor del alternador y el cuerpo de la excitatriz. El desequilibrio puede deberse a posibles defectos en la construcción, fabricación, montaje y operación del grupo hidroeléctrico.

El equilibrado es de aplicación tanto en turbinas de acción como de reacción, así como en turbinas-bombas y bombas acopladas a un generador o motor eléctrico. Se basa en los criterios que permiten la realización del equilibrado dinámico in situ del rotor de un grupo turbina-generador por el método de los coeficientes de influencia.

Plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento está previsto para conocer el estado actual y la evolución futura de los equipos principales de la central, obteniendo la máxima información de cómo el funcionamiento afecta a la vida de la turbina, del generador y del transformador, con el objetivo de detectar cualquier anomalía antes de que origine un grave daño y una parada no programada. Este plan de mantenimiento, complementado con el ordinario, se ha convertido en una herramienta fiable para asegurar la

disponibilidad de los grupos. Básicamente consiste en la aplicación de las técnicas siguientes:

- **Vibraciones y pulsaciones:**

Durante el funcionamiento de una central eléctrica el grupo turbina - generador está sometido a la acción de diferentes fuerzas perturbadoras; el identificar y evaluar las vibraciones y pulsaciones presentes en la unidad, separando aquellas que son propias del funcionamiento de la misma, de aquellas otras que tienen su origen en el funcionamiento anómalo de alguno de sus elementos se realiza mediante el estudio y el análisis de dichas vibraciones y pulsaciones. El proceso de seguimiento y diagnóstico se realiza en las fases siguientes:

Documentación: Se incluye el espectro base como punto de partida para determinar la aparición de problemas en el grupo, así como los planos y una hoja con los datos más significativos de la unidad.

Conocimiento de la máquina: Las características constructivas y de funcionamiento determinan el tipo de posibles defectos y la vibración resultante de los mismos, lo cual hace necesario el conocimiento profundo de la máquina, de sus condiciones de funcionamiento y de los fenómenos asociados al mismo.

Criterios de valoración: Una vez que un defecto ha sido localizado e identificado, se determina su grado de importancia; para la valoración se considera tanto el nivel como las características del mismo. El criterio para la evaluación se basa en la existencia de un banco de datos representativo así como en las medidas históricas de la unidad.

Análisis de aceites: El análisis del aceite lubricante o del aceite de regulación complementa el diagnóstico mecánico del estado de la unidad, los análisis que se realizan sobre la muestra del aceite incluyen las determinaciones de viscosidad cinemática, oxidación, acidez, contenido en agua, aditivos y contenido en metales de desgaste y de contaminación.

El análisis de los resultados obtenidos de los ensayos realizados sobre una muestra del aceite, tomada según un procedimiento adecuado, sobre la base de la experiencia y la existencia de un banco de datos amplio y representativo, conduce al diagnóstico del estado del mismo, detectando la existencia o no de un defecto, identificando el mismo y evaluando su importancia.

Descripción del funcionamiento

La operación y control de una turbina se realiza por medio de un control electrónico que se divide en las siguientes partes: abastecimiento de energía (protecciones de sobrecarga y distribución), controles y señales de supervisión de la bomba de aceite, botones de modo operacional, controles de apagado de emergencia y válvulas de seguridad, controles manuales y conexiones de seguridad para la válvula esférica y válvulas principales, así como para freno de emergencia y apagado del generador, y comandos y señales del generador de las bombas de aceite.

Vista Tableros de Control Sala de Máquinas

Desde el panel se realiza toda la operación comenzando por el control de las bombas de aceite indispensables para el correcto funcionamiento de la turbina, esta siempre debe estar encendida así como la bomba de aceite auxiliar mientras el modo operacional se encuentre en supervisión remota, en este caso la bomba auxiliar se encuentra conectada a un medidor de presión de respuesta. El modo operacional en que se encuentre todo el sistema se puede determinar al seleccionar mediante un interruptor una de las tres posiciones: manual, local o supervisión remota.

Cuando de encuentra en manual se pueden operar desde el cubículo de control de la turbina los siguientes interruptores: control de bombas de aceite I y II, válvulas de paso, válvula esférica, boquillas de frenado y generador. En modo operacional local todos los circuitos mencionados reciben las ordenes de un ordenador; mientras que en modo remoto los comandos solo se aceptan desde una terminal remota.

El sistema al detectar cualquier anomalía puede causar un apagado de emergencia ya sea total o parcial, las condiciones son: nivel bajo de aceite en cualquier bomba, velocidad alta en la turbina, fallas en los controles electrónicos o falta de energía en el sistema de medición de velocidad. En estos casos se dan ordenas automáticas que cierran las válvulas de paso, la esférica, la de cierre hidráulico y los cierres de emergencia, resetea la velocidad y los limitantes de aperturas; también es posible realizar un apagado rápido mediante un botón manual que imparte similares ordenes.

Antes de reiniciar la operación de la turbina después de un apagado de emergencia la válvula de emergencia se debe resetear. Así mismo para abrir la válvula de paso el sello aguas arriba en la esférica no debe tener presión y el procedimiento de emergencia debe ser cancelado. Las condiciones para abrir la válvula esférica las agujas deben estar cerradas, las presiones tienen que ser iguales y la orden de cerrado cancelada. En caso de que una de las condiciones falla las válvulas se volverán a cerrar.

Para prevenir una mala operación el freno hidráulico se encuentra bloqueado por varios circuitos de seguridad hasta que varias condiciones se cumplen y las señales indican "OK" para continuar.

La operación normal de la turbina se realiza siguiendo paso a paso las secuencias de operación de la maquina según lo indica el fabricante.

Algunas posibles perturbaciones que se pueden presentar durante el servicio son:

- La válvula esférica no abre:

Motivo: No se obtiene equilibrio de presión entre la extensión de tubería anterior y posterior.

Causa: las válvulas de llenado no están abiertas, las agujas de la tobera no cierran bien (perdida de presión) o las válvulas de la tubería de vaciado están abiertas.

Motivo: La señal "bloqueo de la válvula esférica abierto" falta estándolo.

Causa: La alimentación de corriente a los interruptores esta interrumpida.

Motivo: Falta agua a presión para accionar la válvula.

Causa: Las válvulas están cerradas, el filtro esta sucio o la válvula de mando esta descompuesta.

- La tobera tiene fuga:

Causa: Cuerpo ajeno atascado.

Remedio: Abrir completamente y volver a cerrar la tobera completamente varias veces.

Causas: Punta de aguja y asiento están gastados.

Remedio: Montar pieza de repuesto.

- Disminución de potencia:

Causa: Cuerpo ajeno atascado.

Remedio: Abrir completamente y volver a cerrar la tobera completamente varias veces.

Causas: Punta de aguja y asiento están gastados.

Remedio: Montar pieza de repuesto.

Causas: Elevación de nivel de agua en la fosa de la turbina.

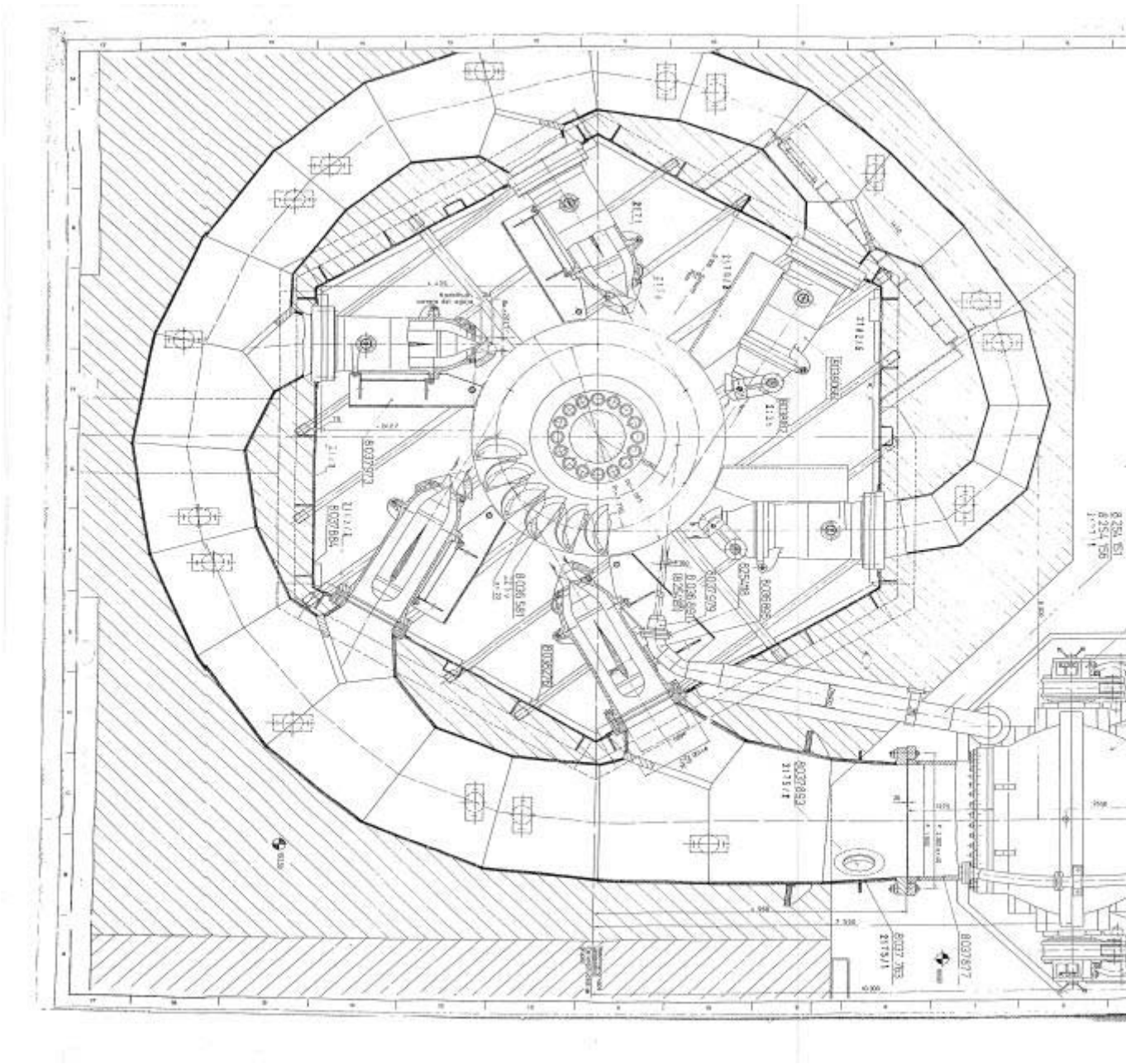
Remedio: Controlar el sistema de aireación del foso y del canal de descarga.

Causas: El deflector sigue al chorro y lo interfiere.

Remedio: Verificar la Posición del varillaje de regulación, comprobar y corregir si es necesario el sincronismo electrónico de las agujas.

Causas: Desgaste en los cangilones del rodete.

Remedio: agua de servicio muy sucia o desgaste de las puntas de las agujas y los asientos e interferencia del deflector en el chorro, el chorro de deshace y provoca un desgaste del rodete. Montar un rodete de reserva.



Mantenimiento de la turbina

- **Trabajos de lubricación**

Las partes móviles de una turbina son muchas y por eso algunas necesitan lubricación para disminuir su desgaste, entre ellas están las toberas y la válvula de tobera de freno son lubricados por la operación y no requieren lubricación adicional, los cojinetes articulados del varillaje de regulación y el pistón de guía del servomotor del deflector deben engrasarse una ves por mes, y los órganos de cierre si es necesario deben engrasare trimestralmente. Los deflectores están guiados en cojinetes de teflón reforzados con fibra de vidrio exentos de mantenimiento y no requieren lubricación.

- **Controles funcionales**

Mensualmente deben controlarse el funcionamiento de los sistemas de seguridad, como interruptores limites, presostatos, medición de velocidad, etc. Trimestralmente se debe controlar el funcionamiento de los empaques por medio del caudal de aceite y de agua de fuga. Anualmente debe controlarse el funcionamiento y el hermetismo de todas las válvulas y grifos.

- **Trabajo de mantenimiento resultante del servicio**

Con el fin de eliminar sedimentos de arena en la tubería anular se debe lavar la tubería abriendo la válvula de vaciado. La limpieza de cilindro de agua del servomotor del deflector de cuerpos extraños se realiza cerrando la alimentación de agua, retirar el tornillo de vaciado del cilindro de agua y lavar la tubería y el cilindro abriendo la válvula. La manutención de los filtros de los filtros de aceite y de agua debe hacerse de acuerdo a las instrucciones del fabricante, la frecuencia de estos trabajos de mantenimiento se rige de acuerdo al grado de ensuciamiento de cada componente.

- **Controles periódicos en el rodete**

Desde el momento de la puesta en servicio de un rodete debe controlarse a fisuras y desgastes en los periodos indicados a continuación:

24 horas de servicio	Control visual
450 horas de servicio	Control visual
900 horas de servicio	Control a fisuras superficiales en los cangilones y en la raíz de los mismos.
1800 horas de servicio	Control visual
4000 horas de servicio	Control a fisuras superficiales en todo el rodete. Este control debe repetirse cada 4000 horas.

Estos intervalos de tiempo se repiten para rodetes en los que fueron efectuados soldaduras de reparación.

- **Revisiones**

Cada 8000 horas de servicio hay que someter la turbina a una revisión completa. Para ello es necesario realizar los siguientes trabajos:

- Control del rodete a fisuras y superficies desgastadas. Especial atención hay que dedicar a los cangilones y el pasaje cangelón-cubo de rodete. Si se encuentran fisuras no se debe continuar usando el rodete. Montar un rodete de reserva y reparar el rodete defectuoso según instrucciones para soldaduras de reparación.

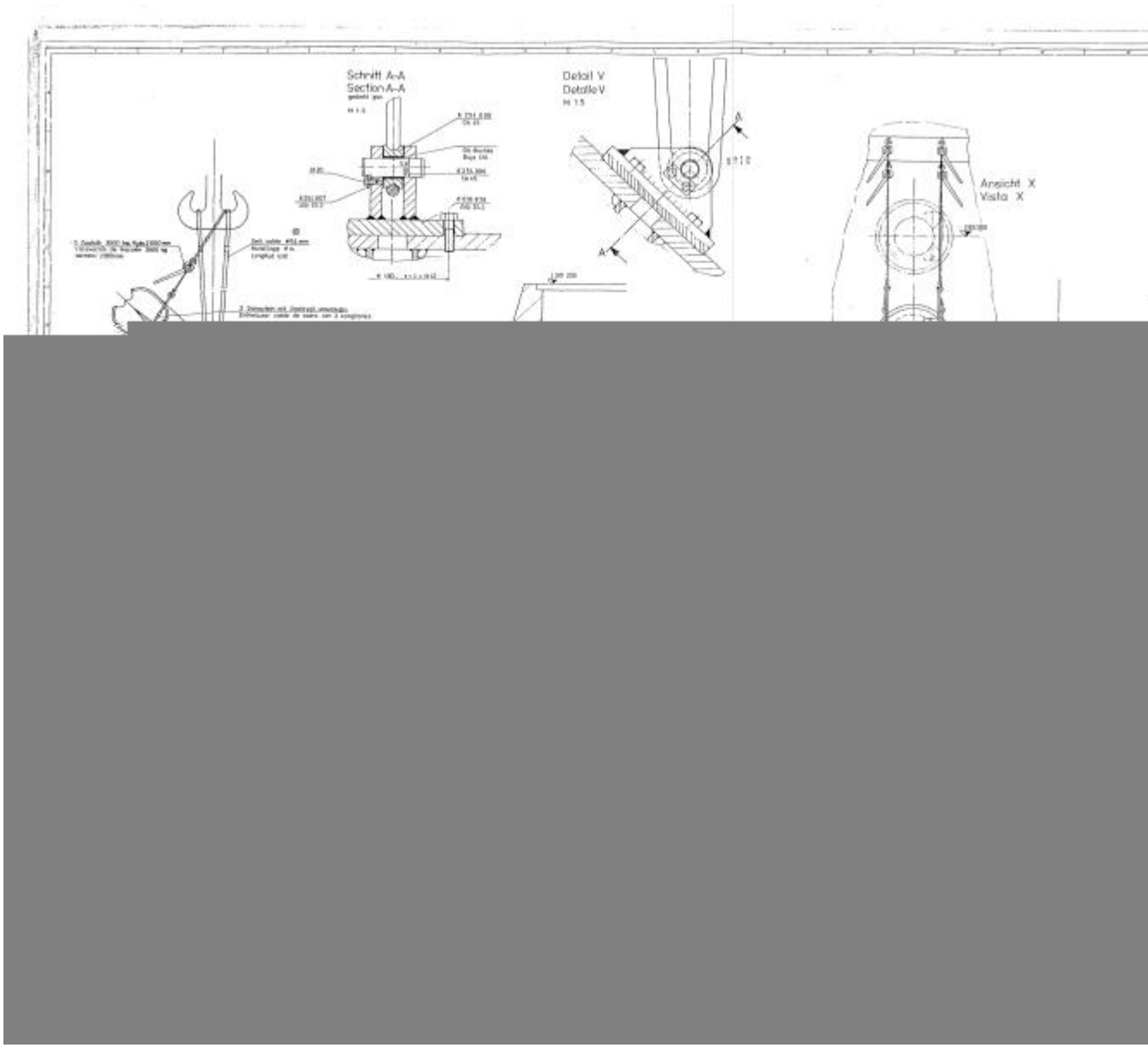
- Controlar a desgaste las puntas de aguja, asientos y cuchillas de deflector de las toberas. Si se encuentran fallas cambiar la pieza con una de repuesto.

- Controlar el llenado y el estado del aceite, de ser necesario cambiarlo o filtrarlo. Antes de poner aceite nuevo es necesario filtrarlo. Fineza 5 лm.

- Controlar a asiento firme uniones de tornillos, pernos y seguros en toda la turbina.

- Controlar si el pintado tiene fallas y/o corrosión en la superficie en contacto con agua en especial la superficie de la tubería anular y del foso de la turbina. Partes falladas hay que desoxidar y proteger con pintura de acuerdo a las instrucciones de conservación.

- Durante la revisión es necesario realizar todos los trabajos descritos anteriormente.



- **Instrucciones para soldadura de reparación en el rodete**

1. Observación previa

Los fabricantes y proveedores de fundiciones toman las medidas convenientes de prueba y de control durante la fundición y mecanización de un rodete, de manera que se entregan con forma y propiedades superficiales optimas. No obstante que se descubra un defecto en la fundición durante el servicio de la pieza. A fin de evitar averías más grandes es imprescindibles atenerse al programa de revisión y control. Para la subsanación de los defectos comprobados debe procederse conforme a las siguientes instrucciones de reparación.

2. División en zonas

Cada pieza posee secciones criticas sometidas a grandes esfuerzos así como zonas menos solicitadas. En estas últimas las magnitudes admisibles válidas para defectos comprobados, así como las condiciones que se deben cumplir en las reparaciones necesarias, pueden ser adaptadas a la solicitación menor. Motivos para ello son, en lo esencial, solamente económicos.

3. Controles

Los controles a realizar se pueden llevar a cabo visualmente, por líquidos penetrantes o magnético. En el primer caso el control consta de una revisión lo más completa posible de todo el rodete, incluyendo los lados posteriores del cangilón y las superficies del cubo. El control mediante líquidos penetrantes revela fisuras o poros mediante marcas de color en la superficie. Utilizando un aparato magnetizante y una suspensión fluida de polvo (negra o fluorescente) se revelan las marcas lineares superiores a 2 mm de longitud.

4. Limites de tolerancia

Zona A: Marcas lineares de 2 mm de longitud

Marcas redondeadas de 6 mm de diámetro

Efectos mates de cavitación hasta una rugosidad considerable.

Zona B: Marcas lineares de 3mm de longitud

Marcas redondeadas de 10 mm de diámetro

Zona C: Marcas lineares de 5 mm de longitud

Marcas redondeadas de 10 mm de diámetro

Efectos de cavitación hasta rugosidad considerable.

5. Subsanación de defectos

Todos los defectos que sobrepasen los limites mencionados arriba deben ser rectificados. Defectos pequeños en la zona de flujo pueden ser rectificados plenamente para así evitar tener que soldar. Lugares mates se deben pulir, en estos hay que tener especial atención que no se formen ondulaciones.

6. Soldado

Preparación del lugar a soldar

Limpieza: todos los lugares a soldar, incluyendo los al redores deben estar libres de óxidos, corrosión, aceite y agua.

- Definición del tamaño: pequeña, mediana o grande

- Procedimiento de soldado:

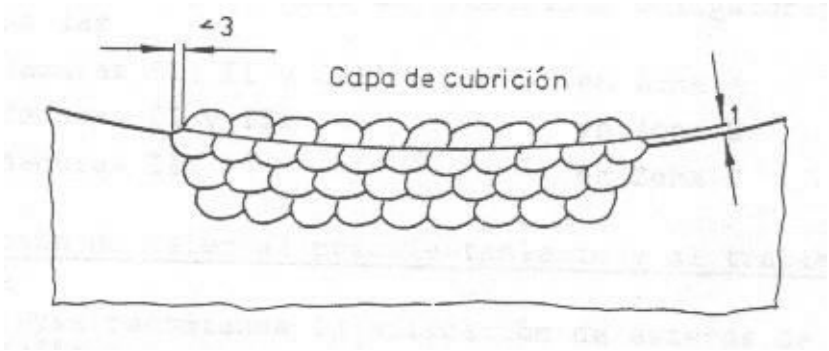
  Con cantidades mayores de material de soldadura, soldadura manual eléctrica con alambre de soldar del mismo genero con revestimiento calcio básico.

  Con ligares a soldar pequeños, en especial la boca de cangilón de pared delgada, soldadura con tungsteno y gas inerte, con alambre de soldar del mismo genero.

- Calificación del soldador: cada soldador tiene que comprobar su capacidad para soldar, en una soldadura de ensayo.

- Precalentamiento: la zona a precalentar tiene que extenderse por lo menos sobre el ancho del cangilón, para que se pueda dilatar y luego contraerse, a una distancia omnilateral de 300 mm como mínimo. Temperatura máxima 350ºC.

- Capa de cubrición: terminado el soldado hasta llenar la costura totalmente, se rebaja el material sobrante dejando solo 1 mm. Luego se aplica una capa de cubrición (una capa de bonificación sin tocar el material base circundante 2 – 3 mm de distancia), rebajándola nuevamente.



- Enfriamiento: debe ser controlado con cubierta de protección hasta por debajo de 80ºC.

- Limpieza: rectificar el área soldada a ras con la superficie circundante.

- Controlar

- Martillado: para la generación de una pretensión por compresión en la superficie, la soldadura que no fue sometida aun tratamiento térmico, han de ser martillados cuidadosamente y uniformemente.

- Tratamiento térmico posterior: consta de un recocido a 600ºC durante 30 minutos por capa de 25 mm de espesor con un enfriamiento controlado posterior.

- **Instrucciones de conservación**

Antes de la mecanización, todas las piezas de fundición y construcciones soldadas son sometidas a una desoxidación por chorro, metálicamente brillante. A todas las superficies en contacto con el agua se le da una capa de pintura , la cual debe ser reparada y completada en la obra después de concluidos los trabajos de montaje y soldadura, la capa solo debe aplicarse luego de comprobar las costuras de soldadura. Para la prueba a presión debe aplicarse una pintura de base completa, antes de aplicar cualquier capa la pintura anterior debe estar en estado impecable y/o reparada; las capas individuales deben diferenciarse claramente una de otra en el tono de color. Deben observarse los tiempos de espera entre dos pinturas.

Las superficies pintadas están exentas de huellas de pintura, gotas, protuberancias, poros y similares. Las pinturas son aplicadas de manera tal, que se produce una película de un espesor de capa uniforme, cubriendo todos los rincones y bordes.

Los grupos de construcción a los que ya no se tienen acceso o que no se desmontaran se les aplicara antes las capas de pintura definitivas. Deben quitarse y repararse las capas de pintura viejas, así como el oxido y restos de soldadura.

- **Repuestos**

Es prudente contar con un mínimo de repuestos básicos para atender las fallas que se puedan presentar y parar el menor tiempo posible la generación de energía. Así como tener a la mano un listado con todos los repuestos posibles, con sus especificaciones exactas y observaciones para poder hacer los pedidos correctos sin cometer errores.

Si se decide mantener repuestos almacenados se debe hacer de tal manera que no se deterioren y evitar accidentes. En caso de almacenar servomotores cuidar que no haya fugas de aceite que produzcan daños al medio. Para el almacenamiento de disolventes y detergentes se deben cumplir las reglas al respecto, en lugares frescos, secos, libres de polvo y con ventilación moderada. Verificar que los empaques cumplan su función después de tres meses de almacenados.

Los almacenes no deben contener instalaciones que produzcan ozono, pues es especialmente dañoso, tampoco lámparas o motores eléctricos que puedan producir chispas. Disolventes, combustibles, lubricantes, productos químicos, ácidos, desinfectantes, etc., no deben guardarse en el mismo almacén.

También es importante tener a mano todas las herramientas indispensables para realizar las reparaciones necesarias. Que sean de buena calidad y cumplan con las necesidades de la planta de generación.

Theodor Kurk

Páginas consultadas

- http://www.asing.es/p3.htm
- http://www.turbinas3hc.com/Pagina2.html