

Mantenimiento de equipos energéticos

Víctor de la Peña Aranguren

Departamento de Máquinas y Motores Térmicos

ARGITALPEN ZERBITZUA
SERVICIO EDITORIAL

ISBN: 978-84-9082-377-4

CIP. Biblioteca Universitaria

Peña Aranguren, Víctor de la

Mantenimiento de equipos energéticos [Recurso electrónico] / Víctor de la Peña Aranguren. – Datos. - Bilbao : Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea, Argitalpen Zerbitzua = Servicio Editorial, 2016. – 1 recurso en línea (112 p.) : PDF.

Modo de acceso: World Wide Web

ISBN: 978-84-9082-377-4.

1. Mantenimiento (Ingeniería). 2. Equipo industrial - Mantenimiento y reparaciones.

62-7(0.034)

ISBN: 978-84-9082-377-4

© Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco
Euskal Herriko Unibertsitateko Argitalpen Zerbitzua

INTRODUCCIÓN

Por lo general, en las Escuelas de Ingeniería no se suele estudiar la problemática del mantenimiento aplicada a los equipos energéticos. Este tema se reserva a cursos especializados de Mantenimiento Industrial

Este documento pretende ser un resumen de las principales operaciones de mantenimiento que deben realizarse sobre los equipos energéticos más habituales en la industria.

Puede servir a los alumnos de los últimos cursos de Ingeniería Industrial, que se especialicen en Ingeniería Térmica, para que tengan una nociones básicas sobre el mantenimiento que requieren determinados equipos energéticos.

Pretende ser el embrión de un documento más completo, que se irá ampliando paulatinamente.

1.- ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANÁLISIS DE VIBRACIONES

VIBRACIÓN

Las vibraciones se definen como los movimientos oscilatorios de un cuerpo alrededor de un punto de referencia y se pueden producir por efecto del propio funcionamiento de una máquina o un equipo.

TIPOS DE VIBRACIONES.

Periódicas: se dan cuando existen fuerzas externas que modifican la amplitud de las sucesivas ondas; se llaman también sinusoidales o libres

No periódicas: son fenómenos transitorios (por ej. Golpes) en los que se produce una descarga de energía en un período muy corto de tiempo.

Aleatorias: Se dan cuando el movimiento de las partículas es irregular; se describen a partir de funciones estadísticas.

CARACTERÍSTICAS DE LA VIBRACIÓN

AMPLITUD

- VELOCIDAD MÁXIMA
- ACELERACIÓN MÁXIMA

FASE

PERIODO (T)

FRECUENCIA: $f = 1/T$ Hz

LA VIBRACIÓN ES UNA ONDA

La vibración es una onda.

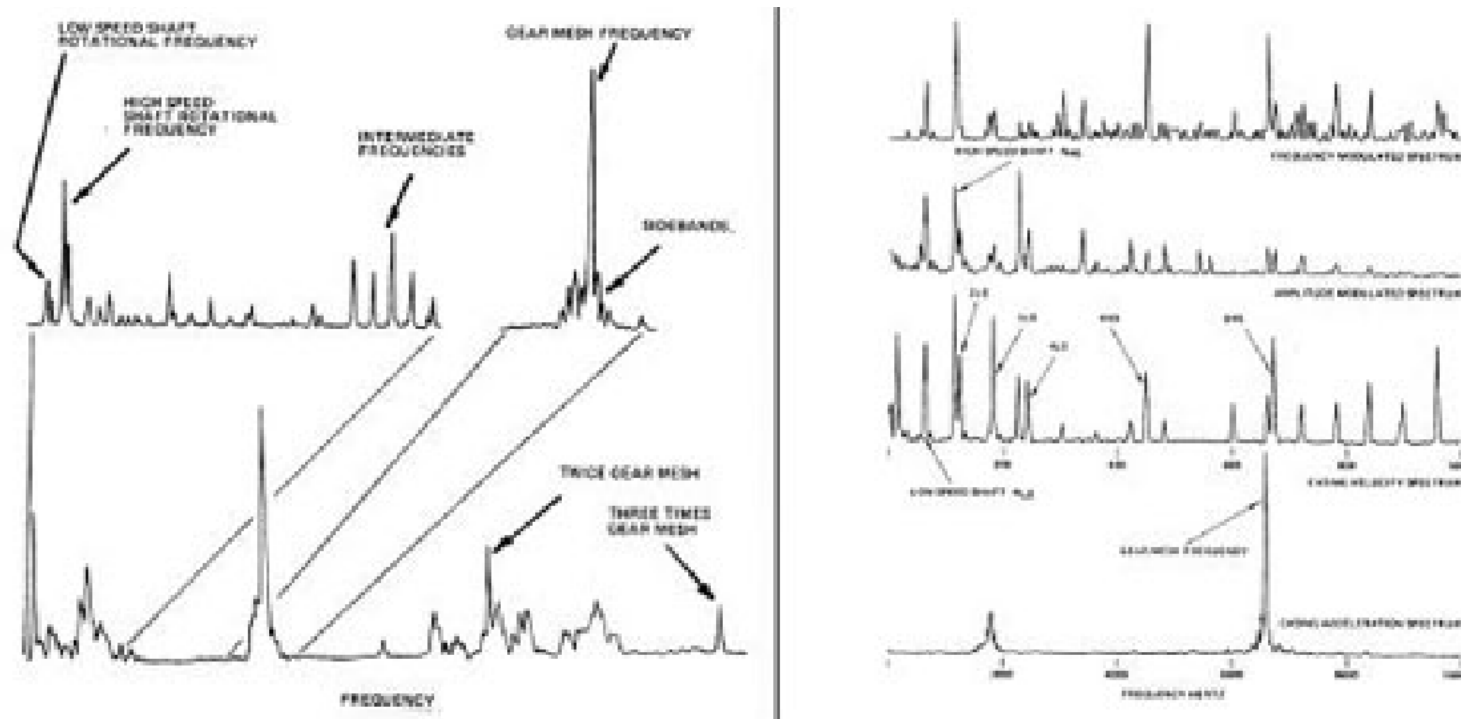
Es por tanto una variable dinámica que será transformada por un sensor de vibración en una onda de tensión a ser adquirida por el correspondiente hardware.

Se puede medir su amplitud, que dará idea de la intensidad de la vibración.

También es muy importante conocer la frecuencia de la onda con el fin de diagnosticar los posibles fallos de la máquina.

Generalmente las ondas de vibración son muy complejas

VIBRACIÓN COMPLEJA



AMPLITUD

AMPLITUD es la máxima separación del cuerpo en su movimiento vibratorio, contada a partir de una posición de equilibrio

MEDIDAS

DESPLAZAMIENTO ----- micras

VELOCIDAD ----- mm/s

ACELERACIÓN ----- mm/s²

PERIODO Y FRECUENCIA

Es el mínimo lapso que separa dos instantes en los que el sistema se encuentra exactamente en el mismo estado: mismas posiciones, mismas velocidades, mismas amplitudes. Así, el periodo de oscilación de una onda es el tiempo empleado por la misma en completar una longitud de onda. Es el tiempo que dura un ciclo de la onda en volver a comenzar

En una onda el periodo es el tiempo transcurrido entre dos crestas o valles sucesivos.

El periodo (T) es el inverso de la frecuencia (f): $T = 1/f$

Como el periodo siempre es inverso a la frecuencia, la longitud de onda también está relacionada con el periodo, mediante la fórmula de la velocidad de propagación.

La velocidad de propagación será el cociente de la longitud de onda (l) y el periodo : $v = l/T$

En Resumen

El **período (T)** es el tiempo que tarda en completarse un ciclo, expresado en segundos.

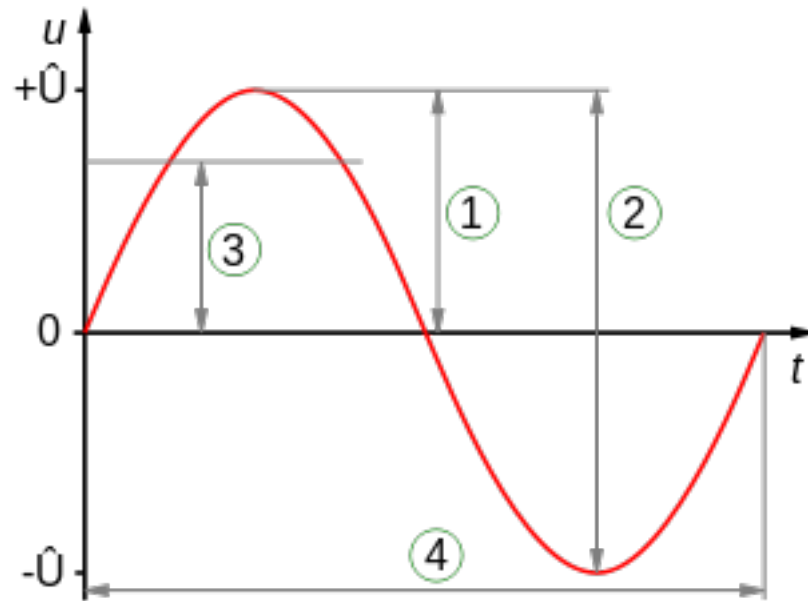
La **frecuencia (f)** es el número de ciclos o períodos que se completan en una unidad de tiempo.

La Frecuencia de vibración nos dice con qué periodicidad ocurre la vibración y ayuda a identificar qué parte de la máquina la produce.

La Frecuencia se mide en Hercios: **Hz = ciclos/s**

FASE DE LA VIBRACIÓN

Indica el modo en que está vibrando el equipo, y por tanto ayuda a identificar y distinguir entre diferentes tipos de problemas.



- (1) = Amplitud
- (2) = Amplitud máxima (de pico a pico)
- (3) = Media cuadrática
- (4) = Periodo

FALLOS DETECTABLES POR VIBRACIÓN

| CONCEPTO | TIPO DE FALLO |
|---------------------------|--|
| HOLGURAS | Estáticas (piezas flojas) Dinámicas (por tolerancias) Fijación de bancadas Apriete de pernos |
| EXCENTRICIDAD | En poleas En cojinetes Salto en el eje |
| DESEQUILIBRIO | Eje doblado Pieza floja desplazada Inicial |
| DESALINEACIÓN | En montaje de cojinetes En acoplamiento En poleas de transmisión Por deformación en bancada, carcasa, etc. Por tensiones en tuberías |
| RODAMIENTOS EN MAL ESTADO | Mal montaje Holgura en el eje Holgura en la caja |
| COJINETES EN MAL ESTADO | Mala lubricación Desgaste Excesivas holguras |
| ROCES | En cierres Axiales del rotor Rotor - carcasa |

FALLOS DETECTABLES POR VIBRACIÓN

| CONCEPTO | TIPO DE FALLO |
|-----------------------------|---|
| ENGRANAJES | Desequilibrio Holguras Desalineación Dientes defectuosos |
| ACOPLAMIENTOS | Mal montaje Holguras Carga excesiva Desgaste |
| CORREAS EN MAL ESTADO | Desgastadas Mal tensadas Poleas excéntricas, desalineadas o desequilibradas |
| FUERZAS HIDRO-AERODINÁMICAS | Cavitación Álabes desgastados o deformados |
| PROBLEMAS ELÉCTRICOS | Estator Rotor Excentricidad Dinámica Campo ovalado |
| RESONANCIA | Vibración en resonancia Resonancia en la carcasa Resonancia de los soportes Resonancia de la bancada |
| PROBLEMAS EN LA LUBRICACIÓN | Remolino de aceite (Whirl) Fricción húmeda |

FRECUENCIA DE APARICIÓN DE LOS FALLOS

| Causa fundamental | Frecuencia Aparición (%) | Observaciones | Origen |
|--|--------------------------|--|--------------------------------------|
| Desalineación | 50 - 70 | | |
| Desequilibrio | 30 - 40 | Muy frecuentemente debido a errores de montaje | Error humano |
| Resonancia del apoyo/ bancada | 30 - 40 | | Diseño / modificaciones |
| Resonancia de tuberías, bancadas, etc | 20 | Generalmente es resonancia parcial | Diseño/Modificaciones |
| Piezas mal contrapesadas en máquinas alternativas | 10 | | Montaje |
| Rodamientos defectuosos | < 2 | | Selección, Mantenimiento, Montaje |
| Ejes doblados | < 1 | | Funcionamiento |
| Bancada o piezas flojas | < 1 | | Funcionamiento |
| Rozamientos | < 1 | | Funcionamiento |

2.- LUBRICACIÓN

LUBRICACIÓN

FRICCIÓN

La Fricción es el rozamiento que se produce entre los diversos órganos móviles de un equipo.

Cuando dos superficies en contacto están dotadas de un movimiento relativo, pueden aparecer 4 tipos diferentes de fricción:

- **La Fricción hidrodinámica o fluida** aparece asociada a superficies completamente separadas por una película lubricante, y por tanto la fuerza de fricción es función principalmente de la viscosidad del aceite.
- **La Fricción semiseca o mixta** aparece cuando existe una película suficientemente desarrollada, pero también hay contactos metal – metal localizados. Por ejemplo, en los motores aparecen en el arranque.
- **La Fricción metal – metal, seca o límite** solamente aparece por circunstancias anómalas de funcionamiento y produce la rápida destrucción del equipo.
- **La Fricción de rodadura** se da en los rodamientos, es debida a la deformación de las superficies rodantes y es independiente del aceite.

DESGASTE DE LAS PIEZAS

La Fricción produce Desgaste

El **desgaste** se define como el daño progresivo que resulta en una pérdida de material debido al contacto relativo entre piezas adyacentes.

Factores de los que depende el desgaste:

- Características de los materiales
- Carga normal aplicada
- Temperatura inicial
- Velocidad relativa de deslizamiento

Mecanismo de la Lubricación

La lubricación tiene lugar cuando las superficies se separan por la introducción de un lubricante, entonces las leyes de la fricción cambian:

- Es independiente de la carga aplicada
- Es independiente de la naturaleza de las superficies
- Varía con la temperatura

OBJETIVOS DE LOS LUBRICANTES

- 1. Lubricar:** es decir, formar una película de aceite para evitar el contacto metal – metal con mínima resistencia al deslizamiento.
- 2. Refrigerar:** para evitar dilataciones y deformaciones inadmisibles.
- 3. Limpiar:** tanto las zonas frías como las calientes de las partículas metálicas que se forman en el rozamiento.
- 4. Reducir el consumo energético:** como consecuencia de reducir las fuerzas de rozamiento

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA LUBRICACIÓN

- Carga aplicada
- Condiciones de funcionamiento
- Características del lubricante
- Técnicas de aplicación del lubricante
- Características de los materiales que rozan.
- Geometría de las partes en contacto

LUBRICACIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS

- **Cojinetes radiales** para apoyo de ejes. Se emplean para altas cargas y velocidades elevadas.
- **Cojinete de empuje de pastillas:** Soportan el empuje axial residual de los rotores de grandes bombas, turbinas de vapor, compresores centrífugos, etc.
- **Acoplamientos:** Unen los ejes de las máquinas motriz y accionada.
- **Engranajes:** Internos de los reductores o multiplicadores de velocidad.
- **Rodamientos:** Realizan el apoyo del rotor en la máquina y también para fijar el movimiento axial.

- Elementos de **compresores alternativos:**
 - Cojinetes de cigüeñal y biela
 - Pistones
 - Deslizaderas
 - Empaquetaduras

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

➤ **Vigilancia rutinaria para:**

- Verificar niveles de aceite y reposición
- Tomar muestras diaria/semanal
- Vigilar los parámetros operativos
- Observar fugas, ruidos, etc.
- Limpieza

➤ **Preventivo según condición**

- Rutas para comprobación en marcha
- Toma de muestra para control periódico de las propiedades del aceite

➤ **Preventivos a intervalo fijo**

- Inspección de aceite (reposición/sustitución)
- Limpieza de cajas y líneas. Comprobación de fugas
- Comprobación y limpieza de vaso de reposición automática
- Limpieza/sustitución de filtros de aceite
- Comprobación de giro de aros de engrase
- Limpieza de centralitas y circuitos de aceite en paradas.

MOTIVOS DE LA DEGRADACIÓN DEL ACEITE

- Entrada de agua.
- Alta temperatura generada en cojinetes
- Entrada de sólidos del exterior por respiraderos o por malas prácticas en la reposición de aceite
- Presencia de partículas procedentes de la propia degradación de los internos de la máquina (material antifricción, desgaste de laberintos, etc)
- Contaminación por productos del proceso procedentes de la maquina accionada que comparte el sistema de lubricación.

CAUSAS DE AVERÍA POR MALA LUBRICACIÓN

- **Ausencia de aceite**
 - Roturas.
 - Consumo excesivo de aceite
 - Taponamiento de línea de engrase por suciedad
 - Falta de reposición
- **Contaminación o degradación del aceite**
 - Entrada de agua o producto
 - Renovación inadecuada
 - Funcionamiento de la máquina con temperaturas elevadas
 - Mala conservación del aceite.
- **Cantidad inadecuada de lubricante**
 - Pérdida de presión de aceite.
 - Funcionamiento de turbinas en stand by
- **Condición mecánica de la máquina**
 - Juego excesivo entre cojinete y eje
 - Desalineación estructural entre soportes de cojinetes
- **Utilización de lubricante inadecuado**
 - Error humano
 - Funcionamiento de la máquina fuera de las condiciones especificadas

CUALIDADES QUE DEBE TENER UN BUEN LUBRICANTE

- **TENAZ**: Para garantizar una película continua
- **FLUIDO**: Para que se extienda por toda la superficie rozante.
- **POCO VOLÁTIL**: Para que no se evapore a altas temperaturas.
- **ESTABLE**: Para evitar la aparición de gomas debidas a su propia descomposición.

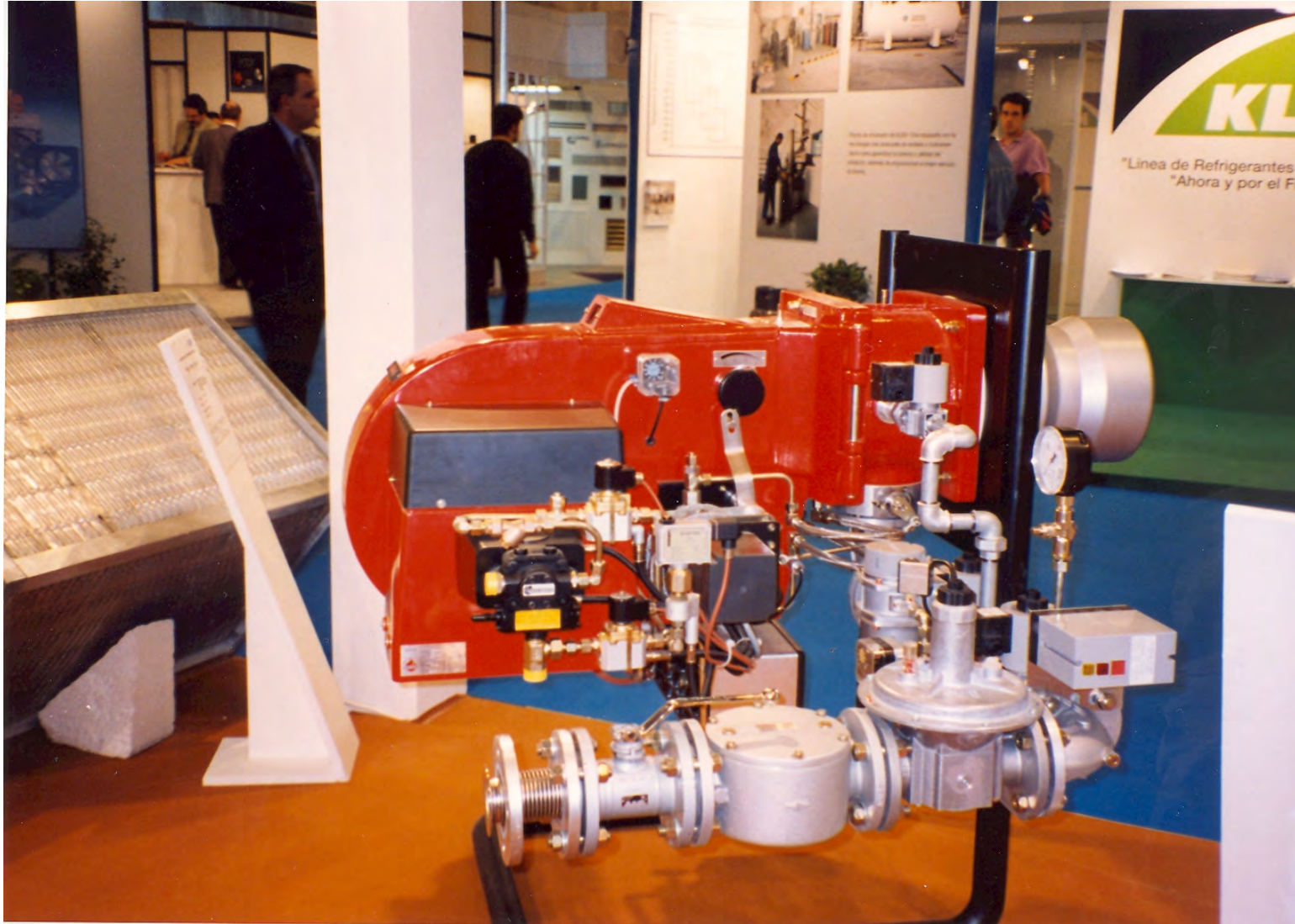
DEGRADACIÓN DE LOS ACEITES

La calidad de los aceites sufre con el uso una degradación de doble naturaleza:

- **Degradación Intrínseca**: Debida a modificaciones fisico-químicas de los constituyentes.
- **Degradación Extrínseca**: Producida por residuos

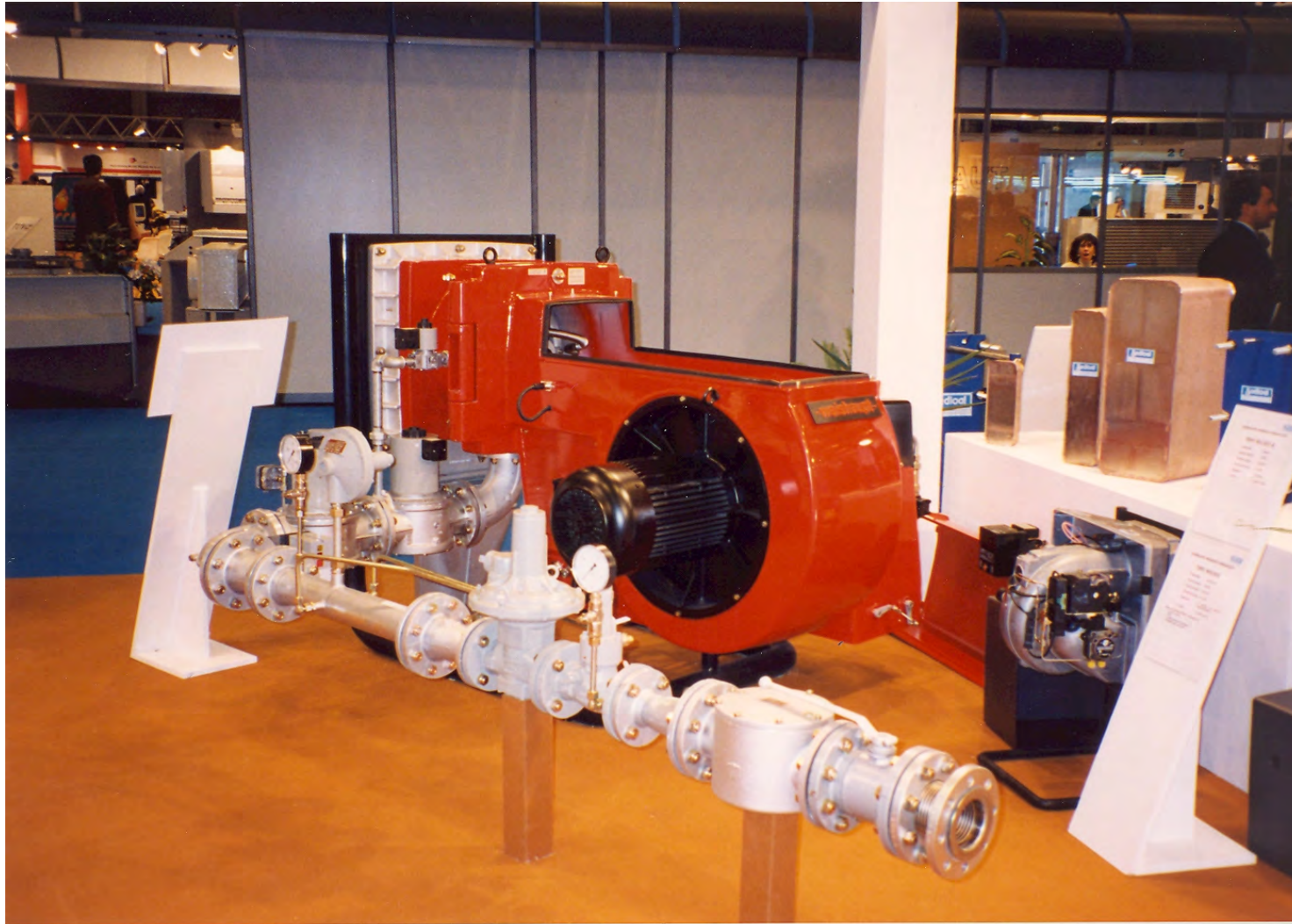
3.- QUEMADORES

QUEMADORES



Víctor de la Peña Aranguren

QUEMADORES



QUEMADORES



QUEMADORES



QUEMADORES



LIMPIEZA Y REGULACIÓN

Los quemadores se deben mantener en buen estado de funcionamiento, controlando:

- Grado de limpieza
- Formación de incrustaciones
- Respuesta de los sistemas mecánicos

Los dos primeros aspectos se pueden controlar utilizando aditivos.

Los **aditivos de tipo dispersante** evitan el ensuciamiento y las incrustaciones, mientras que los **de tipo disolvente** se utilizan para la limpieza de quemadores sucios.

Antes de cada encendido es conveniente **purgar el hogar** para evitar posibles explosiones.

Esta purga consiste en el barrido con aire, debiéndose impedir la llegada de combustible hasta que se hayan barrido perfectamente los posibles gases explosivos.

Por otro lado hay que comprobar que el quemador se enciende instantáneamente y sigue funcionando. Para ello se debe utilizar un **detector de llama** que responda ante cualquier anomalía y corte el suministro de combustible

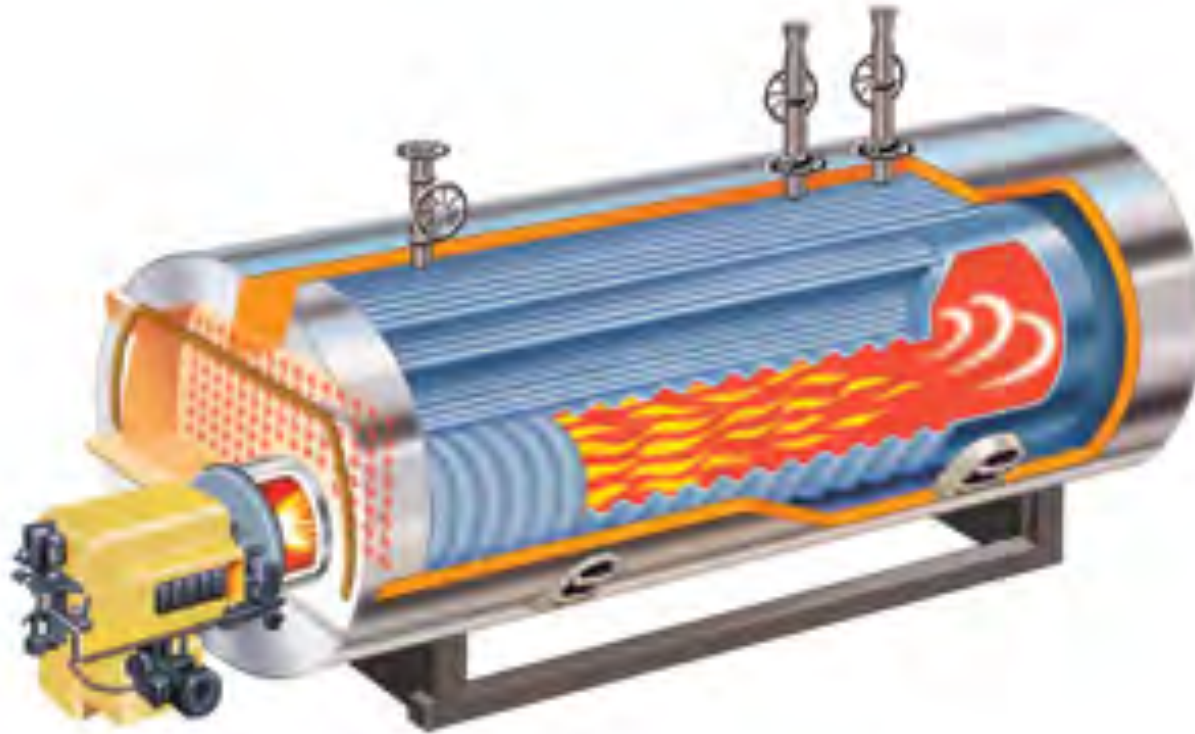
OPERACIONES DE MANTENIMIENTO

Las operaciones rutinarias más frecuentes son:

- Inspección periódica y frecuente de las boquillas.
- Inspección periódica y frecuente del sistema de control de la llama y del sistema de barrido.
- Limpieza de partes sucias.
- No variar ni el tamaño del orificio ni el ángulo de atomización de las boquillas.
- Mantenimiento y comprobación de especificaciones de los sistemas mecánicos.

5.- CALDERAS

CALDERAS



MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO EN CALDERAS

- 1) Calorifugado del cuerpo, tuberías y tanques (Termografía)
- 2) Inspección de las válvulas de seguridad
- 3) Control de la combustión
- 4) Análisis de los humos
- 5) Economizadores
- 6) Mantenimiento de purgadores
- 7) Eliminación de fugas de vapor
- 8) Recuperación de condensados
- 9) Limpieza de tubos
- 10) Calidad del agua de alimentación y de la caldera

PRINCIPALES ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

TAREAS DIARIAS

- Toma de datos y vigilancia de los parámetros principales
 - Presiones
 - Temperaturas
 - Niveles
- Comprobación de ausencia de fugas de vapor y de agua
- Comprobación de ausencia de vibraciones y ruidos en motores y bombas
- Control de las presiones de entrada y salida de bombas y de consumo de motores
- Inspección visual de la instrumentación
- Controles químicos del agua de alimentación y del agua de purgas

PRINCIPALES ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

TAREAS MENSUALES

- Engrase de motores y bombas
- Análisis del mapa de vibraciones
- Comprobación del buen estado de los equipos en reserva

GRANDES REVISIONES

- Revisión de quemadores
- Revisión de las Bombas de Agua de Alimentación
- Comprobación y calibración de los lazos de: Presión, Temperatura, Caudal y Nivel
- Revisión de las válvulas motorizadas
- Inspección visual de los tubos en el interior de la caldera
- Inspección general de la estructura soporte de la caldera (corrosiones, grietas, etc)
- Inspección general de la estructura soporte de las tuberías
- Revisiones legales

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DIARIO

- Vigilancia del equipo de tratamiento del agua de aporte y dosificación de aditivos. Reponer reactivos.
- Vigilancia de la temperatura de gases en chimenea
- Comprobar que los condensados están libres de contaminación
- Comprobar el correcto funcionamiento y purgar indicadores de nivel ópticos
- Efectuar las purgas de lodos y sales,
- Vigilancia de la temperatura de aportación de agua

MANTENIMIENTO PREVENTIVO SEMANAL

- Limpiar filtros, fotocélula y electrodos de encendido del quemador en caso de utilizar combustibles líquidos
- Comprobar el correcto funcionamiento de termómetros, termostatos, manómetros y presostatos
- Comprobar el correcto funcionamiento de automatismos de la cadena de seguridades del conjunto caldera-quemador.
- Proceder al cierre y apertura de todas las válvulas manuales que están asociadas a la caldera, comprobando que funcionan correctamente
- Comprobar estanqueidad en aperturas de inspección que dan acceso al interior de la caldera

MANTENIMIENTO RELATIVO AL AGUA DE CALDERAS

Debe realizarse semanalmente

Analizar muestras del agua contenida en el interior de la caldera:

- Salinidad
- Dureza
- pH
- Contenido O₂

Como consecuencia de la analítica se ajustarán adecuadamente la temporización de purgas, la cantidad de aditivos a suministrar, etc.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO MENSUAL

- Prueba de paro niveles de seguridad: Alto y Bajo
- Prueba de funcionamiento del paro con el interruptor de emergencia
- Verificar el buen funcionamiento de elementos del cuadro eléctrico de maniobra y control: automatismos y seguridad
- Prueba de buen funcionamiento de bombas de circulación o alimentación de agua
- Pruebas de funcionamiento de equipos y accesorios del quemador
- Análisis de gases y ajuste de la combustión

MANTENIMIENTO PREVENTIVO ANUAL

- Inspección en frío, caldera parada, procediendo a la apertura de todos los registros en el lado agua y gases
- Inspeccionar el estado de la caldera respecto a la aparición de corrosiones y evaluar si el tratamiento de agua es correcto
- Proceder a la limpieza del lado agua eliminando incrustaciones y sedimentos.
- En el lado de gases proceder también a una limpieza exhaustiva, eliminando hollines.
- Limpieza de ciclones, filtros de mangas o electrofiltros
- Comprobar el estado de los elementos de seguridad que actúan sobre la presión, temperatura y nivel.
- Reparación de fugas de vapor

6.- HORNOS

HORNOS INDUSTRIALES

Existe una gran cantidad de hornos industriales y por tanto su clasificación es muy amplia, pero se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- **Hornos con quemador (consume combustibles convencionales)**
- **Hornos eléctricos de arco (consumen electricidad)**

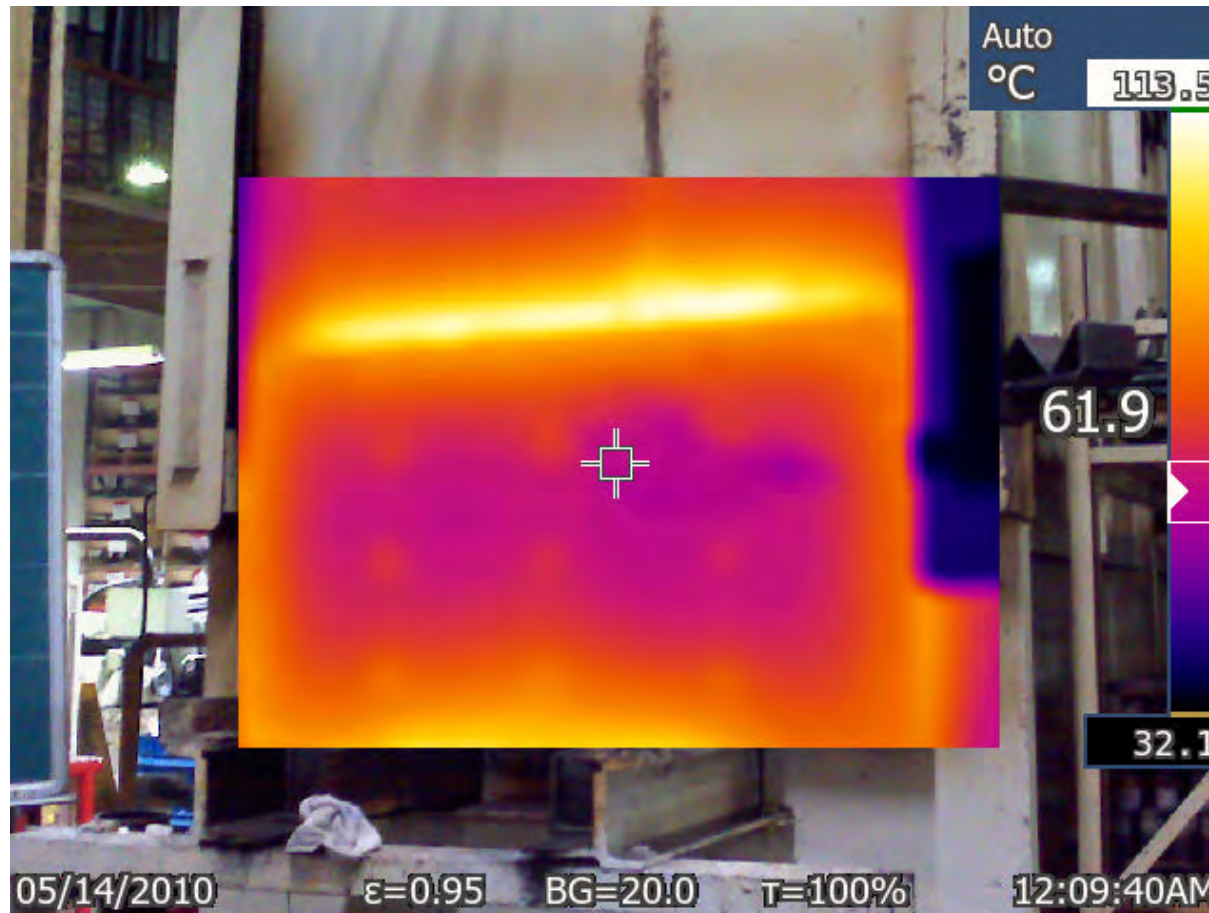
Los Hornos son grandes consumidores de energía y en general su rendimiento energético es bajo, por lo que su Mantenimiento va orientado, principalmente, al ahorro y la eficiencia energética.

Por ello el Mantenimiento de los Hornos de quemador se centra en 5 operaciones

- Verificación del estado del Refractario y del Aislamiento.
- Detección de infiltraciones
- Control de los quemadores
- Control del proceso de combustión
- Control de los gases de combustión

VERIFICACIÓN DEL ESTADO DEL REFRACTARIO Y AISLAMIENTO

El sistema más eficaz de comprobar el estado del refractario y del aislamiento es utilizando la técnica de la **TERMOGRAFÍA**



CONTROL DE LOS QUEMADORES

Los quemadores se deben mantener en buen estado de funcionamiento, controlando:

- Grado de limpieza
- Formación de incrustaciones
- Respuesta de los sistemas mecánicos

Los dos primeros aspectos se pueden controlar utilizando aditivos.

Los **aditivos de tipo dispersante** evitan el ensuciamiento y las incrustaciones, mientras que los **de tipo disolvente** se utilizan para la limpieza de quemadores sucios.

Antes de cada encendido es conveniente **purgar el hogar** para evitar posibles explosiones.

Esta purga consiste en el barrido con aire, debiéndose impedir la llegada de combustible hasta que se hayan barrido perfectamente los posibles gases explosivos.

Por otro lado hay que comprobar que el quemador se enciende instantáneamente y sigue funcionando. Para ello se debe utilizar un **detector de llama** que responda ante cualquier anomalía y corte el suministro de combustible

CONTROL DE LA COMBUSTIÓN

El control de la combustión tiene como principal objetivo obtener su máximo rendimiento

Los puntos a controlar son:

- Coeficiente de exceso de aire
- Inquemados
- Cenizas
- Detectores de llama

Defectos básicos en una mala combustión

- Defecto de aire (aire insuficiente)
- Distribución no uniforme del combustible y/o del aire en la zona de combustión
- Temperatura insuficiente en la zona de combustión
- Insuficiente turbulencia para conseguir una buena mezcla aire/combustible

CONTROL DE LOS GASES DE LA COMBUSTIÓN

Se debe realizar periódicamente mediante un analizador de gases. Proporcionan información sobre el proceso de combustión, así como de infiltraciones y diluciones

Los parámetros de los humos a controlar son:

- Caudal de gases
- Temperatura de los humos
- % O₂
- % CO₂
- CO (ppm)
- Partículas sólidas

Una Temperatura de los humos excesivamente elevada puede estar ocasionada por:

- Exceso de tiro
- Hogar subdimensionado
- Cámara de combustión defectuosa
- Exceso de combustión
- Ajuste defectuoso del regulador de tiro.
- Recorrido insuficiente de los humos.

7.- BOMBAS

BOMBAS CENTRÍFUGAS

Es un equipo dinámico cuyo objetivo es impulsar líquidos

CLASIFICACIÓN

De Desplazamiento Positivo

- Adición discontinua de energía
- Incrementa la **presión** del líquido hasta conseguir su desplazamiento.

Dinámicas

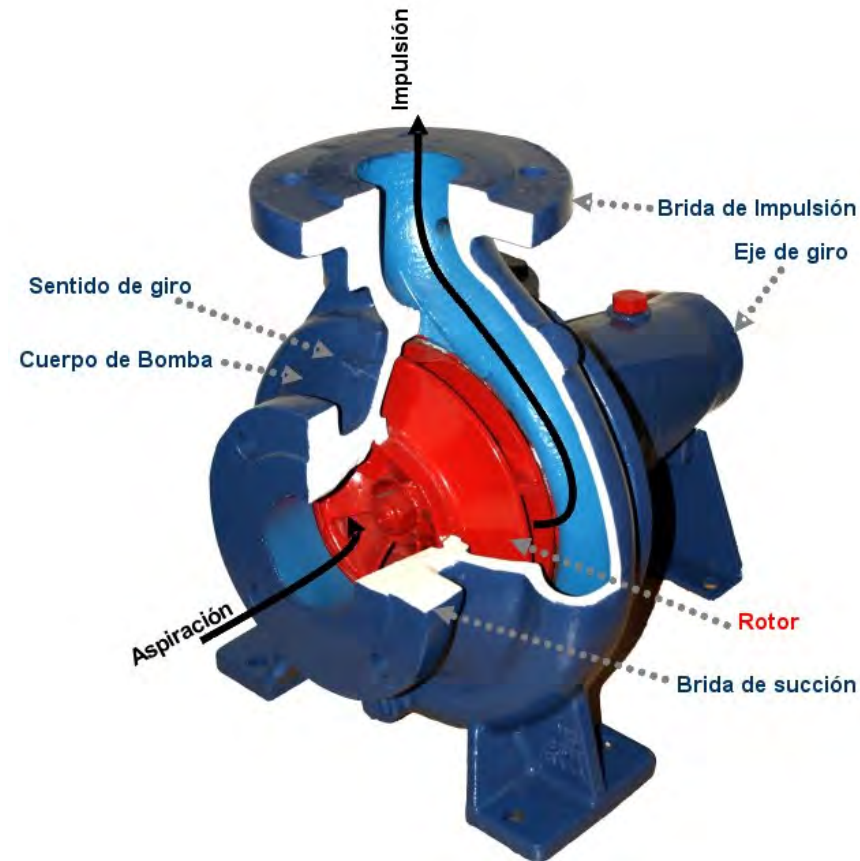
- Adición continua de energía
- Aumenta la **velocidad** de líquido dentro de la bomba

VENTAJAS DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS

- Coste muy inferior
- Caudal continuo
- Amplia gama de características y servicios
- Sencillez mecánica
- Costes de mantenimiento

FUNCIONAMIENTO

Constan de una parte rotativa (impulsor) que transmite energía cinética al fluido, imprimiéndole velocidad dentro de una parte estática (carcasa), produciendo el aumento de presión.



OPERACIÓN DE ARRANQUE Y PARADA

En el Arranque

- Comprobar que la bomba está llena de producto
- Comprobar que las válvulas de refrigeración están abiertas
- Realizar arranque con impulsión cerrada y abrir lentamente
- Con productos muy calientes, calentar antes para evitar choque térmico

Después del arranque:

- Vigilar sistemas auxiliares del cierre
- comprobar consumo del motor
- Comprobar que las presiones de aspiración e impulsión están dentro de rango
- Durante la operación, no situarse en el caudal mínimo ni hacerla trabajar en el extremo
- Vigilar correcta lubricación y reponer nivel.
- Regular temperaturas.

FACTORES PRINCIPALES A CONSIDERAR

- LUBRICACIÓN
- REFRIGERACIÓN
- ALINEACIÓN
- SELLADO

AVERÍAS. Origen y Causas

| Clasificación según | Tipos | Definición | Ejemplo |
|-------------------------|---------------|--|--|
| El modo de presentarse | Catastróficas | Se presentan de forma súbita y total | Embalamiento |
| | Progresivas | Por desviación paulatina de un parámetro de diseño u operación | Mal diseño del acoplamiento de una bomba de lubricación al cigüeñal de un compresor alternativo |
| El momento de aparición | Infantiles | Se presentan al poco tiempo de su puesta en funcionamiento | Rotura de eje por fatiga debido a fallo constructivo |
| | Periódicas | Como consecuencia del final de un ciclo de vida | Rotura de un eje por fatiga |
| | Aleatorias | Se pueden presentar en cualquier momento debido a las condiciones de funcionamiento imprevistas para las que el equipo no fue diseñado | Rotura de carcasa de una bomba al intentar enfriarla con agua externa |
| La situación del equipo | En operación | Cuando el equipo está trabajando. Son las más normales | Cavitación |
| | En reserva | El equipo está parado y debe entrar en funcionamiento por una emergencia | Rodamientos de un reductor de reserva con aceite contaminado y que al ponerlo en servicio se produce la avería de los mismos |
| Su dependencia | Primarias | El fallo es debido a causas inherentes al propio equipo | |
| | Secundarias | El fallo es debido a la avería de otro equipo | |

8.- COMPRESORES

COMPRESORES



INTRODUCCIÓN

Los compresores tienen como objetivo aumentar la presión de un gas.

Se clasifican en:

➤ **ALTERNATIVOS**

➤ **ROTATIVOS**

SISTEMA DE LUBRICACIÓN

Es el capítulo más importante en la vida de la máquina. Realizar una perfecta lubricación con un aceite de buena calidad y adecuado para compresores, alarga considerablemente la vida útil del compresor.

Es fundamental, antes de la puesta en marcha, verificar el nivel de aceite del cárter. El nivel debe mantenerse entre las muescas de máx. y min. y siempre se observará en caliente y con la máquina parada.

Características principales del aceite

- Viscosidad
- Temperatura de congelación
- Temperatura de inflamación

SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Es fundamental que el compresor esté suficientemente refrigerado, por dos motivos principales:

- **Evitar los problemas derivados del calentamiento.**
- **Se reduce el consumo de energía.**

Fluidos refrigerantes

- Los compresores pequeños se pueden refrigerar por **aire**.
- Los grandes deben refrigerarse por **agua** (la refrigeración por agua es más eficaz).

Una buena refrigeración exige mantener el compresor siempre limpio. La suciedad actúa como un aislamiento muy eficaz.

Para ello hay que controlar diariamente las temperaturas de entrada y salida del fluido que se utilice como refrigerante (agua o aire).

Cuando el compresor es suficientemente grande, se puede aprovechar su calor de refrigeración como calefacción, para calentar la nave industrial o las oficinas. Es uno de los sistemas de aprovechamiento energético de los compresores más utilizado y con rentabilidades elevadas.

COMPRESORES ALTERNATIVOS

| OPERACIONES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO | PERIODO DE OPERACIÓN |
|--|-----------------------|
| Comprobación del nivel de aceite | Diariamente |
| Pasatapas | Diariamente |
| Cambiar filtro de aspiración | Cada 1.000 h (aprox.) |
| Comprobar seguridades | Diariamente |
| Comprobar funcionamiento Instrumentación | Diariamente |
| Comprobar filtro de aceite | Cada 1.000 h (aprox) |
| Cambiar aceite del cárter y filtro de aceite | Cada 2.000 h (aprox) |
| Conexiones equipo eléctrico y motor | Cada 2.000 h (aprox) |
| Comprobar regulación | Cada 1.000 h (aprox) |
| Revisión y limpieza de válvulas | Cada 2.000 h (aprox) |

COMPRESORES ROTATIVOS

OPERACIONES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Comprobación nivel de aceite

Cambio de aceite

Cambio del cartucho del filtro de aceite

Cambio del cartucho del filtro separador de aceite

Cambio del cartucho del filtro de aire

Comprobar filtro de aceite

Tensado de la correa

Cambio de la correa

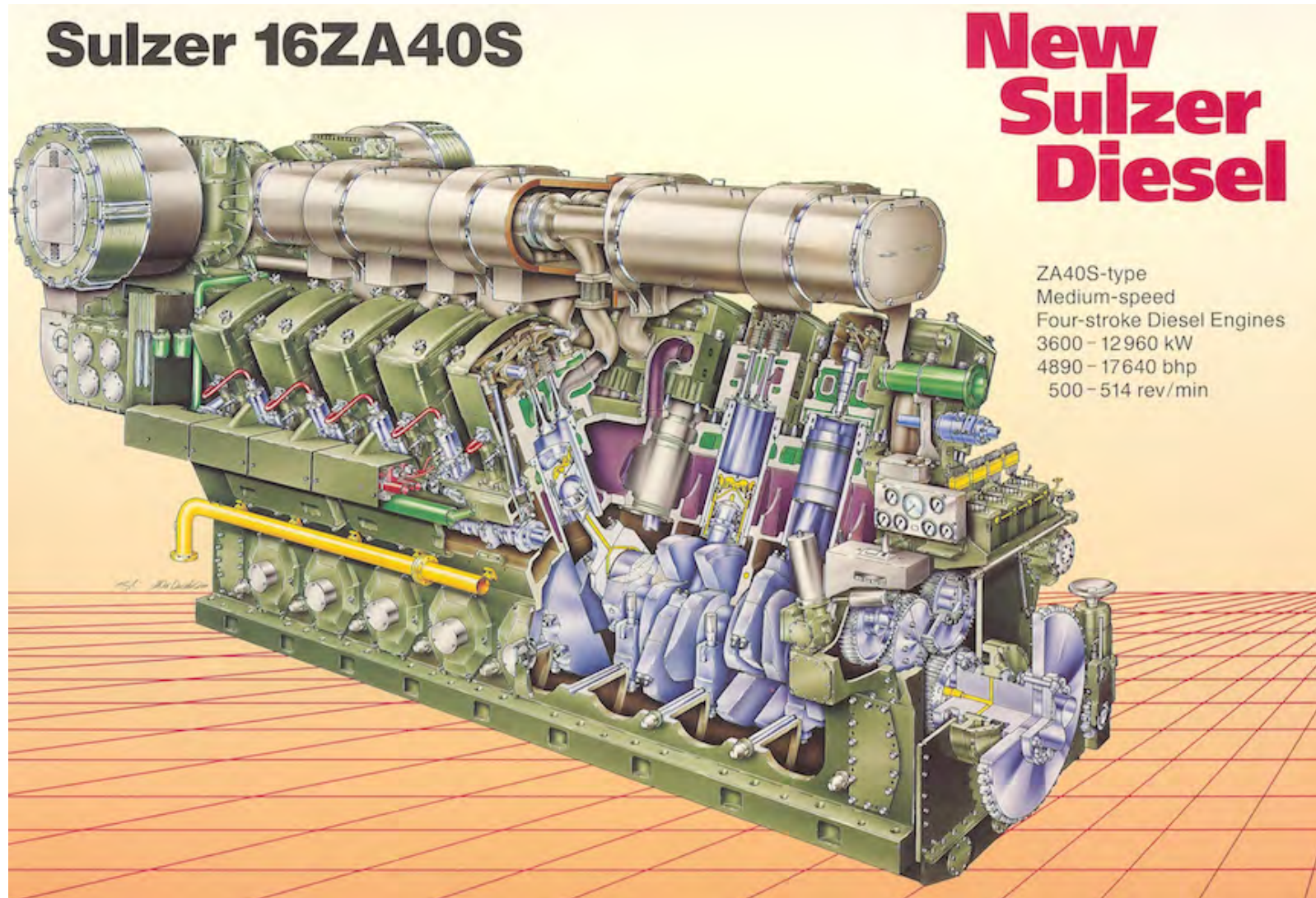
Limpieza del radiador aire / aceite

Vaciado de la condensación

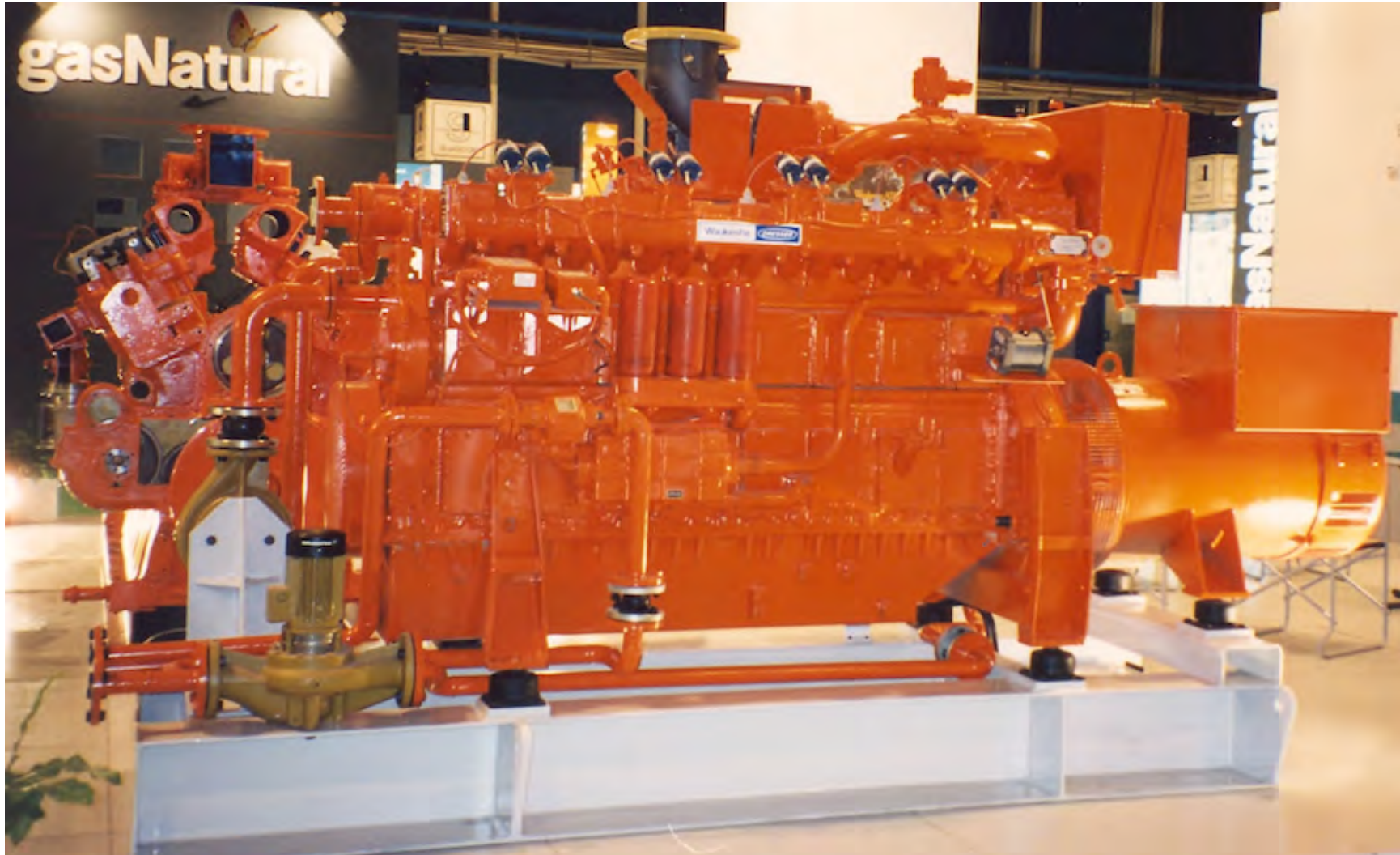
Limpieza del prefiltro antipolvo

9.- MOTORES ALTERNATIVOS DE COMBUSTIÓN INTERNA

MOTORES ALTERNATIVOS DE COMBUSTIÓN INTERNA



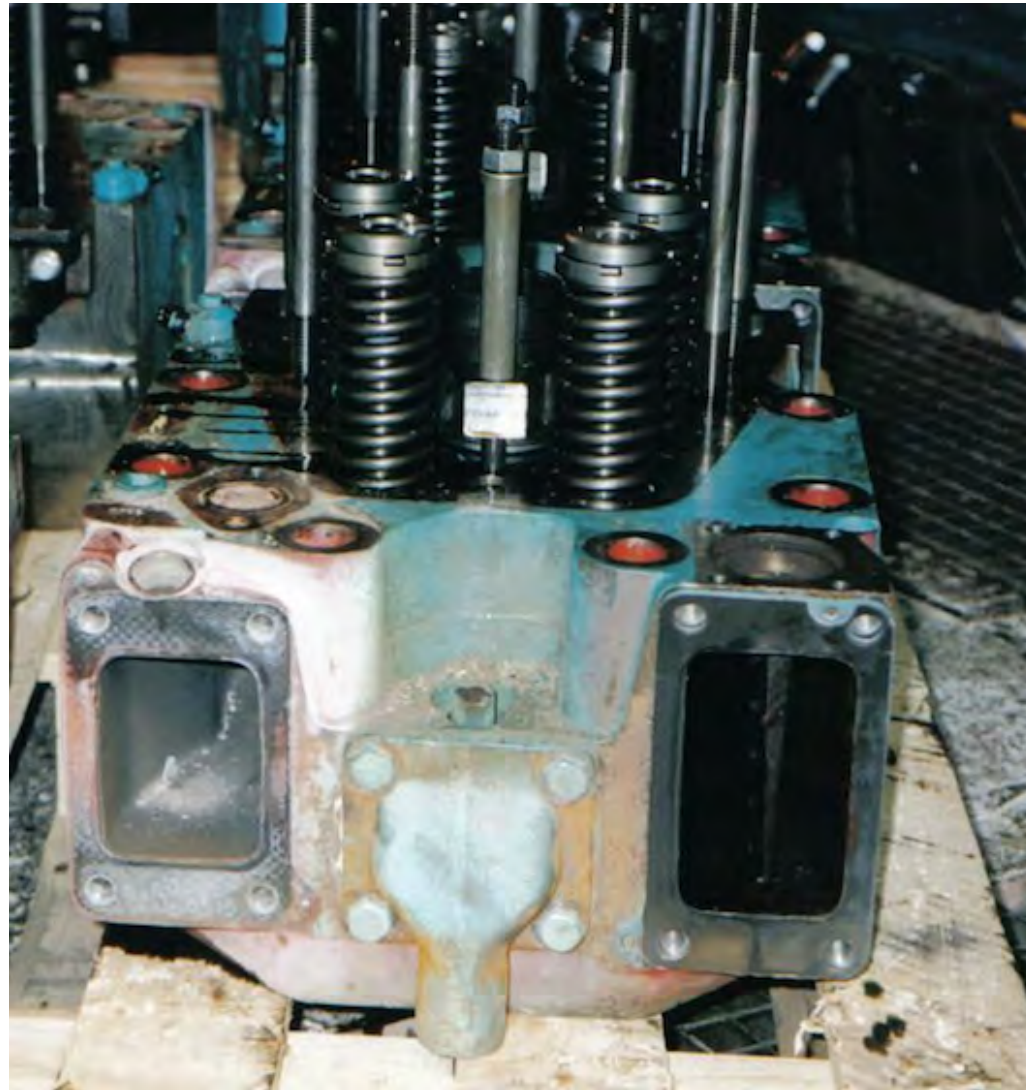
MOTOR DE GAS NATURAL



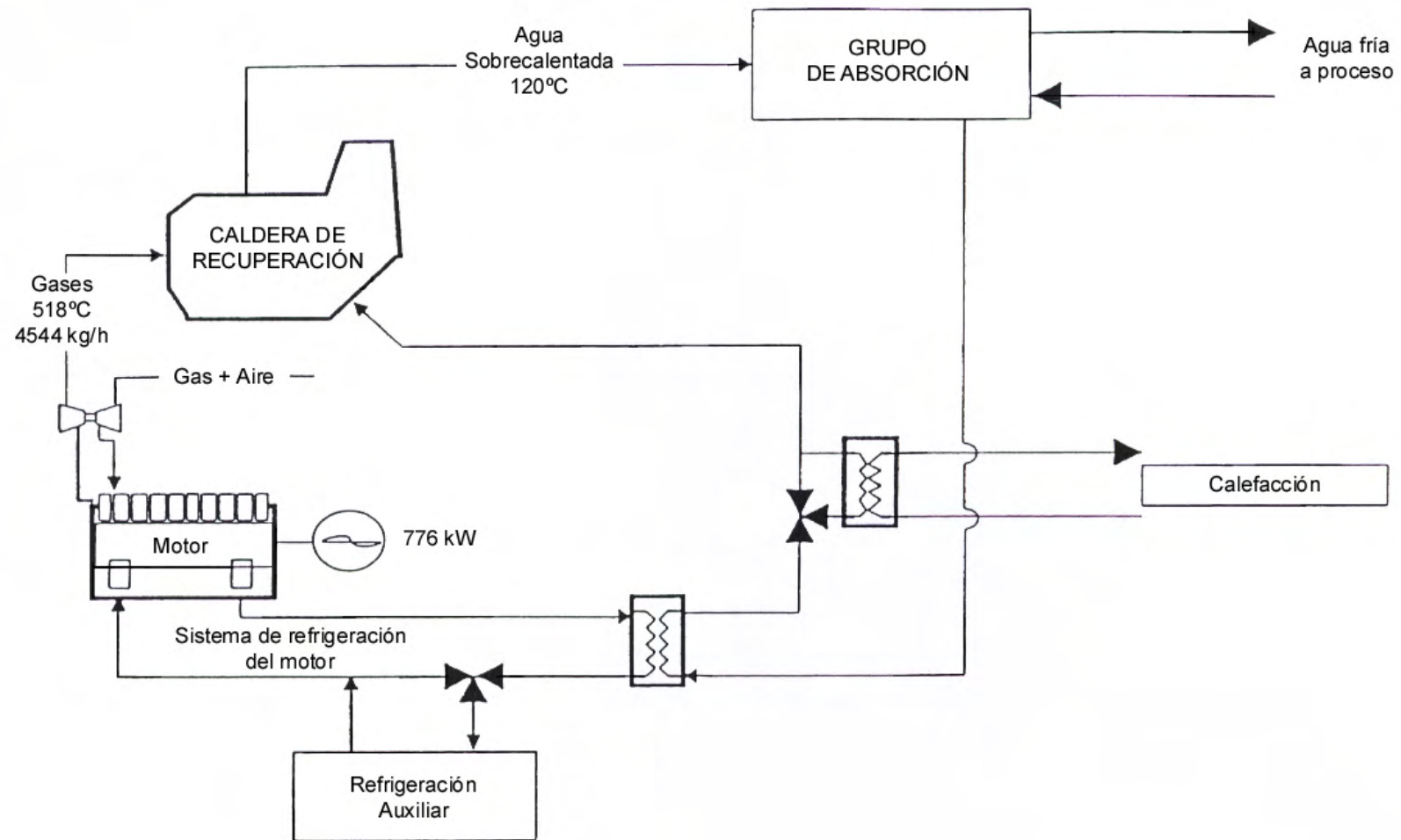
CILINDRO



ENTRADA Y SALIDA DE GASES AL CILINDRO



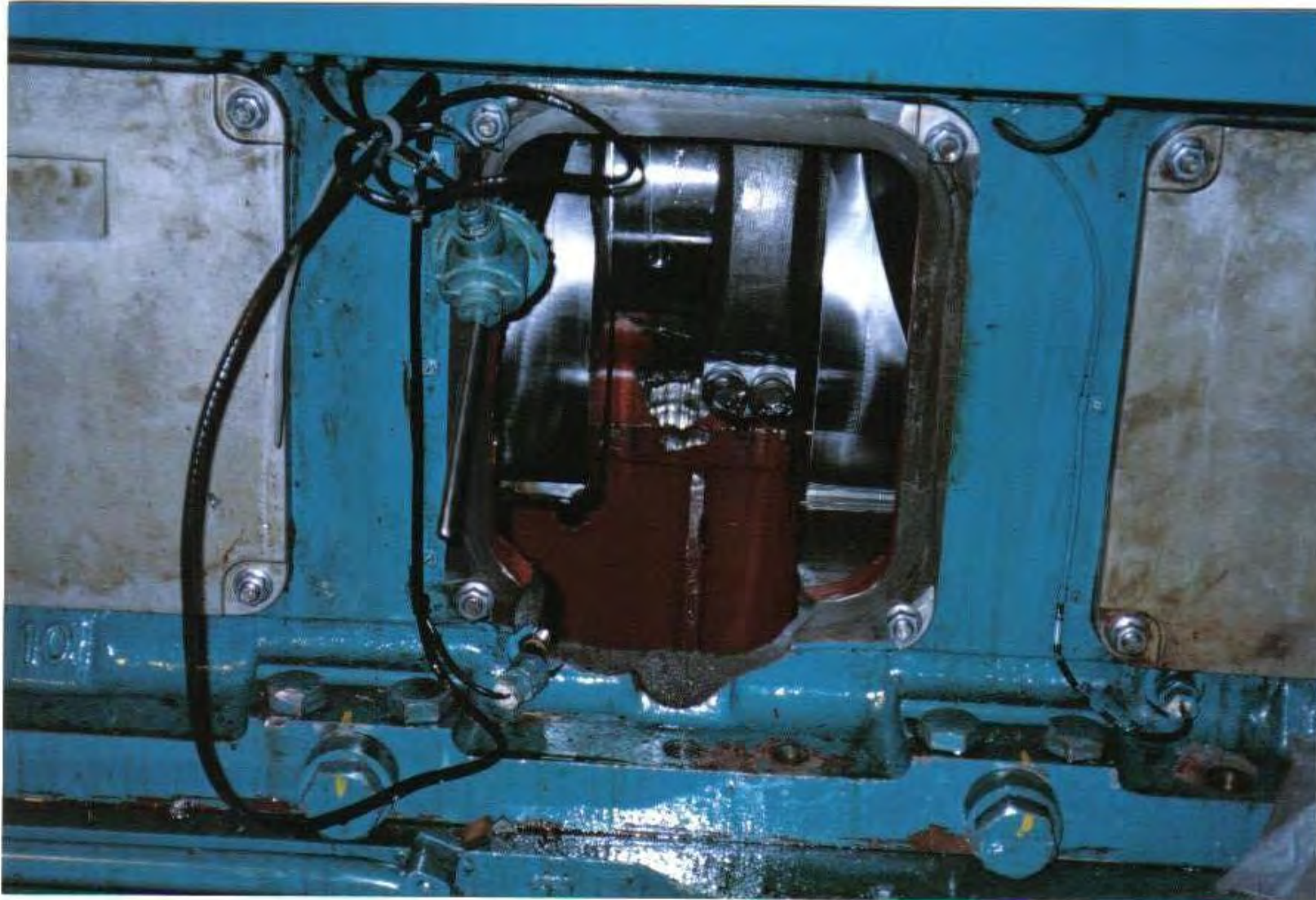
COGENERACIÓN CON M.A.C.I



FALLOS TÍPICOS EN MOTORES TÉRMICOS

- **Sistema de encendido**
- **Sistema de alimentación de aire**
- **Sistema de alimentación de combustible**
- **Sistema de lubricación**
- **Sistema de refrigeración**
- **Sistema de transmisión de potencia**

FALOS DE LUBRICACIÓN



FALOS DE LUBRICACIÓN



EXCESIVO CONSUMO DE ACEITE



OPERACIONES DE MANTENIMIENTO CADA 50 h

| CONCEPTO | OPERACIÓN |
|---------------------------------|---|
| Enfriadores de aire | Revisar el drenaje de enfriadores de aire Comprobar que los tubos de drenaje están abiertos. Comprobar cualquier fuga. |
| Automatismos | Comprobar los valores de funcionamiento Controlar y registrar todos los valores de funcionamiento. |
| Sistema de enfriamiento de agua | Comprobar el nivel de agua en el sistema de refrigeración Comprobar el nivel de agua en el tanque de expansión y / o la presión estática en los circuitos de refrigeración de motores. |
| Biela | Comprobar apriete de los tornillos de biela |
| Filtros aceite | Comprobar los indicadores de caída de presión. |
| Aceite de lubricación | Comprobar el nivel de aceite en el cárter. Reponer consumo. |
| Cojinetes principales | Comprobar apriete de tornillos principales de rodamientos |
| Turbocompresor | Limpiar el compresor mediante la inyección de agua. |
| Mecanismo de las válvulas | Comprobar holgura de las válvulas |

OPERACIONES DE MANTENIMIENTO CADA 1.000 h

| CONCEPTO | OPERACIÓN |
|---|--|
| Agua de refrigeración | Comprobar la calidad del agua Comprobar el contenido de aditivos |
| Aceite de lubricación | Análisis de una muestra de aceite |
| Filtro de aire | Limpieza del filtro de aire del turbocompresor |
| Bomba aceite de lubricación | Engrasar la bomba |
| Acoplamiento flexible (Llenado de aceite) | Cambio de aceite / comprobación del acoplamiento |
| Filtro de gas | Limpiar filtro de gas |
| Sistema de ignición | Limpiar y comprobar el estado de la ignición. Cambiar bujías |
| Válvula de retención de la pre-cámara | Limpiar y comprobar la válvula de retención. Comprobar si hay desgaste, reemplazar las partes desgastadas si es necesario |

OPERACIONES DE MANTENIMIENTO CADA 2.000 h

| CONCEPTO | OPERACIÓN |
|----------------------------------|---|
| Sistema de gas | Comprobar fugas |
| Filtro del aceite de lubricación | Sustituirlos cuando la pérdida de carga indique suciedad excesiva |
| Filtro centrífugo | Limpiar filtro centrífugo |
| Aceite lubricante | Cambiar aceite y analizar para conocer su estado y degradación |
| Válvulas | Comprobar holguras |

OPERACIONES DE MANTENIMIENTO CADA 4.000 h

| CONCEPTO | OPERACIÓN |
|--|--|
| Sistema eléctrico | Comprobar cables. Contactos, montaje, etc |
| Árbol de levas | Comprobar las superficies de contacto de los rodillos de leva y empujadores. |
| Circuito de refrigeración del turbocompresor | Inspeccionar el circuito de refrigeración del turbocompresor |
| Cigüeñal | Comprobar alineación del cigüeñal |
| Cojinete de empuje | Comprobar holgura del cojinete de empuje |
| Acoplamiento flexible | Cambio de aceite del acoplamiento |
| Filtro del gas | Cambiar el cartucho del filtro |
| Filtro de aire de arranque | Limpiar filtro de aire de arranque |
| Estanqueidad del cilindro | Comprobar la estanqueidad del cilindro |

OPERACIONES DE MANTENIMIENTO CADA 12.000 h

| CONCEPTO | OPERACIÓN |
|--------------------------|--|
| Bomba H T | Inspección Bomba H T |
| Válvula termostática H T | Inspección y limpieza válvula termostática |
| Bomba L T | Inspección bomba L T |
| Válvula termostática L T | Inspección y limpieza válvula termostática |
| Bomba aceite lubricante | Inspeccionar bomba aceite lubricante |
| Cojinetes del turbo | Inspeccionar cojinetes del turbocompresor |

OPERACIONES DE MANTENIMIENTO CADA 16.000 h

| CONCEPTO | OPERACIÓN |
|-----------------------|--|
| Cojinetes | Inspeccionar los cojinetes del árbol de levas. Cambiar si es necesario |
| Engranajes | Inspeccionar los engranajes. |
| Cojinetes principales | Inspeccionar los cojinetes principales |
| Válvulas | Desmontar y limpiar las válvulas de admisión y escape |
| Camisas | Inspeccionar las camisas de los cilindros |
| Acoplamiento flexible | Revisar el acoplamiento flexible |
| Circuito de gas | Revisar todo el circuito de gas. Inspeccionar estanqueidad. |
| Pistones | Inspeccionar los pistones |
| Inyectores | Inspeccionar y limpiar los inyectores |
| Vibraciones | Comprobar vibraciones |
| Aceite lubricación | Controlar el aceite de lubricación. Análisis de su estado |

OPERACIONES DE MANTENIMIENTO CADA 24.000 h

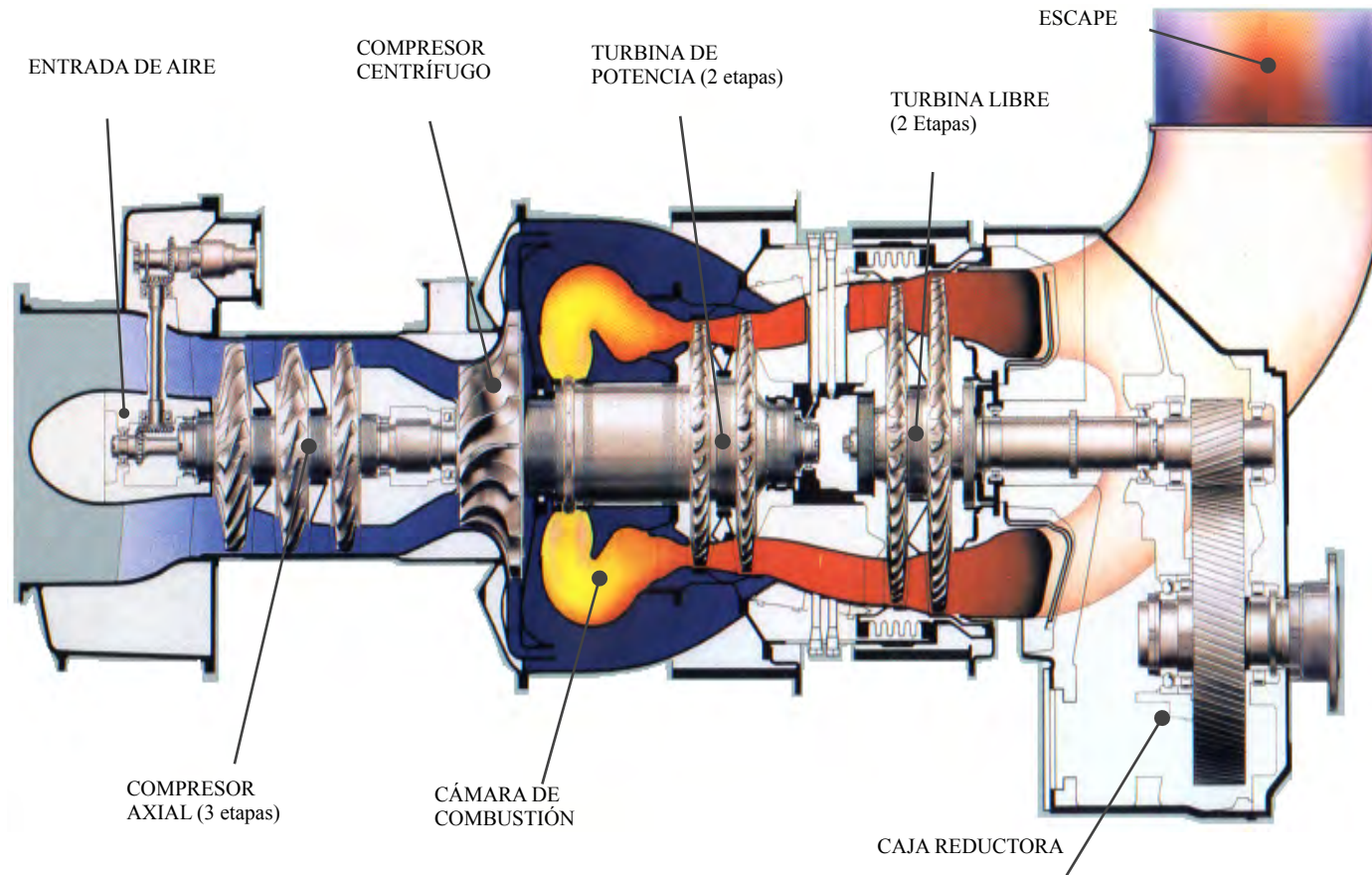
| CONCEPTO | OPERACIÓN |
|-----------------------|--|
| Tornillos fijación | Comprobar apriete de los tornillos de fijación del motor |
| Fuelle de expansión | Comprobar fuelle de expansión |
| Acoplamiento flexible | Comprobar acoplamiento flexible |
| Cojinetes del turbo | Reemplazar cojinetes del turbo |

OPERACIONES DE MANTENIMIENTO CADA 48.000 h

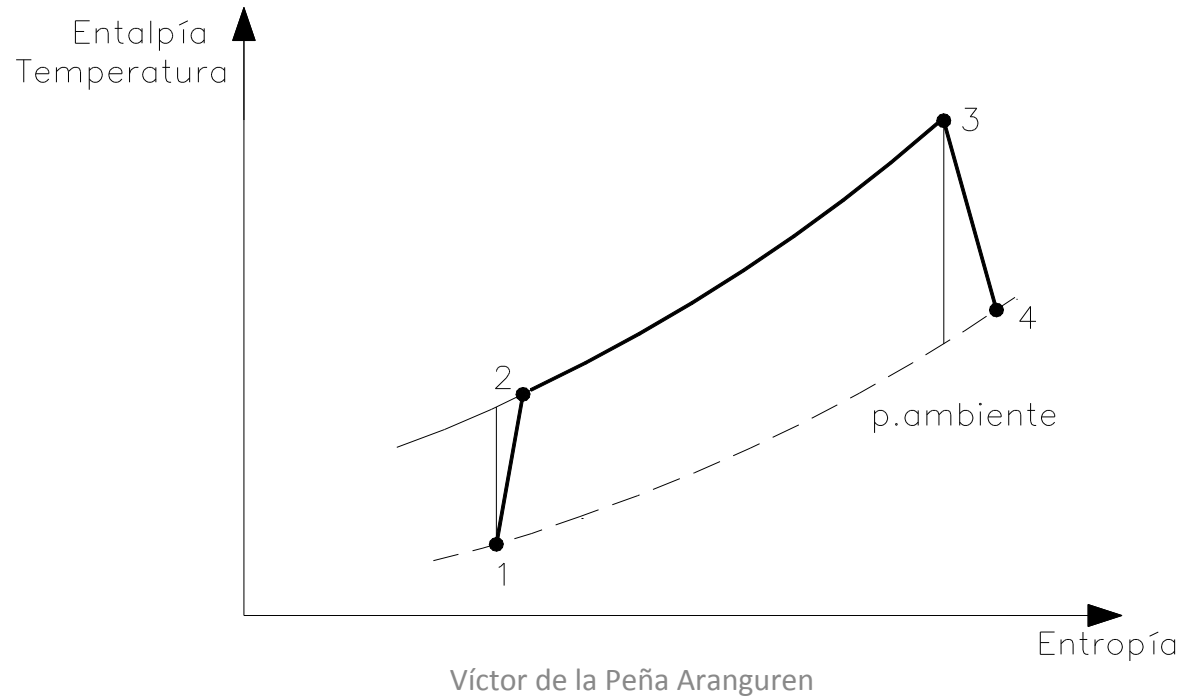
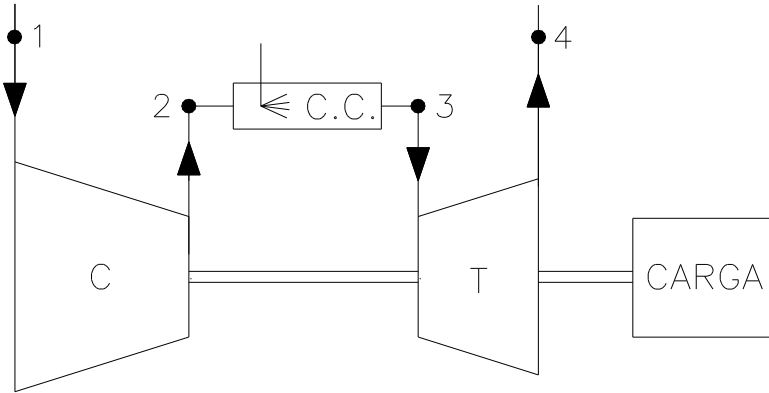
| CONCEPTO | OPERACIÓN |
|-----------------------|--|
| Engranajes | Cambiar rodamientos engranajes intermedios |
| Cigüeñal | Inspeccionar cigüeñal. Comprobar desgaste |
| Acoplamiento flexible | Comprobar acoplamiento flexible |
| Balance | Comprobar balance del motor |

10.- TURBINA DE GAS

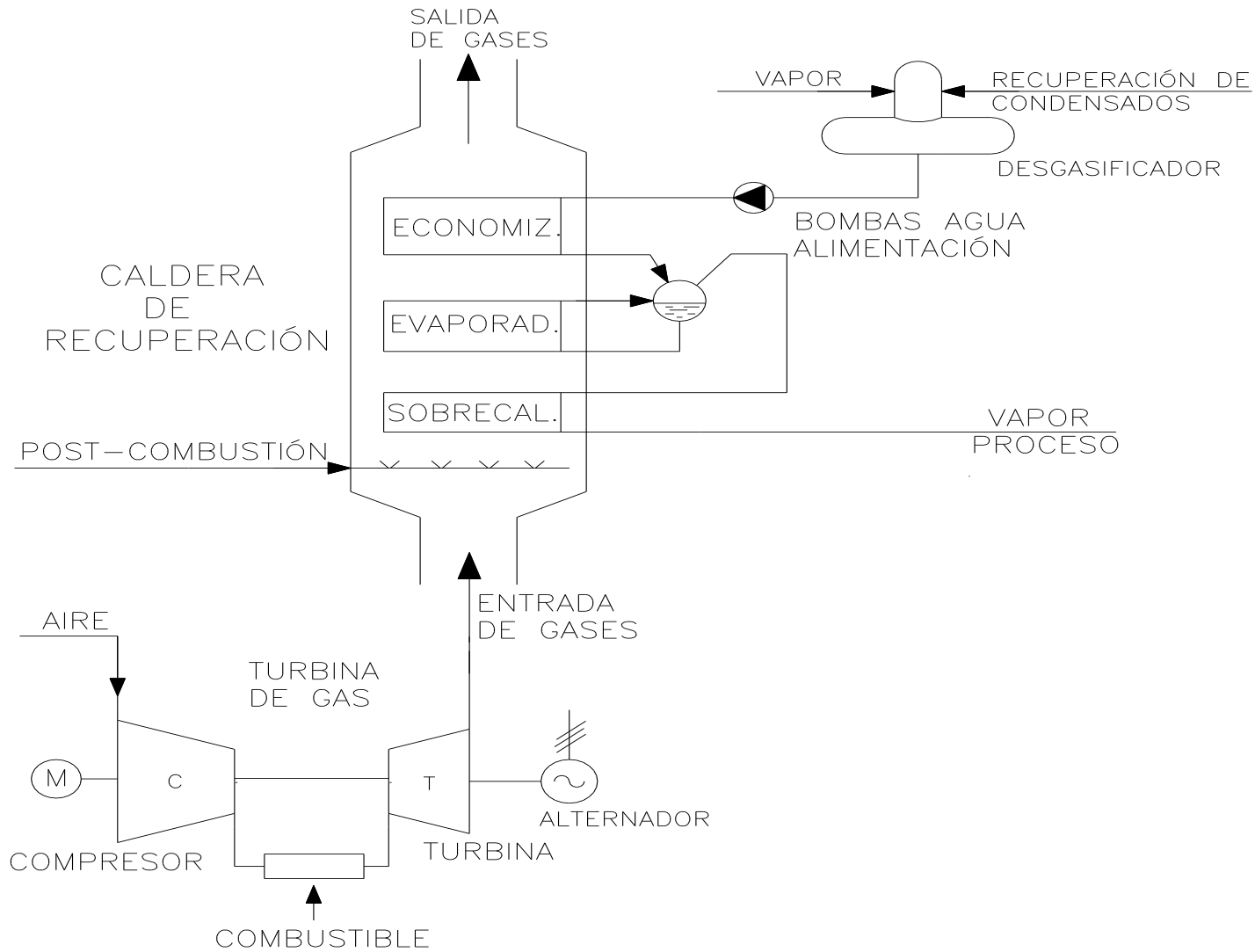
TURBINA DE GAS



CICLO TERMODINÁMICO DE LA TURBINA DE GAS



COGENERACIÓN CON TURBINA DE GAS



PRINCIPALES AVERÍAS EN LAS T. G.

DIAGNÓSTICO DE AVERÍAS POR INSPECCIÓN ENDOSCÓPICA

La inspección endoscópica es una herramienta que permite observar las piezas internas de combustión, partes calientes de la turbina y álabes del compresor sin necesidad de abrir las carcasas.

Los puntos a observar por **endoscopia**, en una T.G son:

- **Cámara de combustión**
- **Inyectores de combustible**
- **Álabes del compresor**
- **Álabes del expansor**

DEFECTOS MECÁNICOS TÍPICOS

Elementos de combustión : Desprendimiento del recubrimiento y defectos por ataque de llama. Deformación plástica por temperatura. Desgaste de los elementos de anclaje.

Partes calientes. Directrices

- Su estado se considera aceptable cuando los defectos no suponen peligro de desprendimiento de material.
- El estado es no aceptable cuando los defectos producen grietas en zonas críticas: más de 1" de longitud con un diámetro superior a 0,13 mm. o pueden causar avería parcial. Tampoco son aceptables cuando existe peligro de desprendimiento de material si la grieta progresa.
- Daños por objetos extraños: la muesca del impacto no debe superar el 50% del espesor de pared.
- Corrosión o erosión: admisible siempre que el material retirado en álabes sea inferior al 50% del espesor de pared.

Álabes del compresor: Los álabes del compresor suelen presentar depósitos de carbonilla y marcas de impactos por cuerpos extraños.

AVERÍAS MAYORES EN T. G.

- Fusión de una de las cámaras de combustión por efecto soplete procedente de la fuga de combustible.
- Deformación de los álabes de las primeras etapas del compresor por haber rozado con la carcasa por bombeo del compresor.
- Deformación de los alabes de la 1ª y 2ª etapa del compresor por contacto de los alabes con la carcasa, como consecuencia de la dilatación diferencial de carcasa y rotor.
- Avería de las etapas del compresor por entrada de un cuerpo extraño en la aspiración.
- Avería de las etapas de turbina por rotura de un álabe de 1ª etapa.
- Avería en los cojinetes radiales del tren de máquinas.
- Avería prematura y generalizada de las partes calientes de turbina (álabes y directrices) por corrosión en caliente.

AVERÍAS ELÉCTRICAS Y DE CONTROL

Las averías de control típicas se deben generalmente a fallos de los instrumentos de campo y al fallo eléctrico de motores o sistemas que producen la parada de la máquina, la reducción de potencia o el mal funcionamiento del sistema.

Las típicas son:

- Fallo de detectores de posición de las válvulas de gas.
- Fallo de la electroválvula de entrada de aceite al convertidor de par.
- Avería del sistema de corriente continua
- Fallo del actuador de las válvulas antibombeo.
- Disparo del sistema de extinción de incendios por avería de uno de los sensores de incendio.
- Fallos de posición de los finales de carrera del sistema de inyección de vapor.
- Funcionamiento incorrecto de las servoválvulas por contaminación del aceite por agua.

PRINCIPALES ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

TAREAS RUTINARIAS

- Vigilancia de los principales parámetros
- Análisis del aceite de lubricación
- Sustitución de filtros del aire de admisión
- Calibración de la instrumentación
- Limpieza del compresor
- Comprobación del sistema contra incendios

GRANDES REVISIONES

- Cambio de álabes
- Cambio de la cámara de combustión
- Limpieza manual de los álabes del compresor
- Revisión completa de toda la instrumentación
- Revisión completa de todo el sistema de lubricación
- Equilibrado del conjunto rotor
- Alineación de la turbina

RESUMEN

La complejidad tecnológica de las T. G. obliga a contratar el mantenimiento con el fabricante.

Existen dos tipos de Mantenimiento:

- a) **El diario, con la máquina en funcionamiento**
- b) **Las revisiones programadas, con la turbina parada**

El mantenimiento diario lo realiza el propietario del equipo, chequeando:

- Potencia generada
- Temperatura de salida de los gases
- Tiempo de arranque y parada
- Frecuencia de paradas
- Mapa de vibraciones
- Rendimiento de la turbina

Revisiones con la turbina parada

- Limpieza de los filtros de aire
- Inspección de los elementos de combustión.
- Inspección de las partes calientes
- Inspección general que requiere la apertura de la turbina cada 50.000 h (aprox)

11.- SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

SUBESTACIÓN ELÉCTRICA



INTRODUCCIÓN

Es una instalación destinada a establecer los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica para facilitar el transporte y distribución de la electricidad.

Clasificación

- Reductoras (hasta 13,2, 15, 20, 45 ó 66 kV)
- Elevadoras (hasta 132, 220, 400 kV , ...)

La potencia eléctrica transportada por la red vale $P = V \times I$

Las pérdidas eléctricas por efecto Joule valen: Pérdida = $I^2 \times R$

Elementos fundamentales de una subestación

- Transformadores (es el equipo principal)
- Elementos de maniobra (Interruptores, seccionadores, ...)
- Elementos de protección (fusibles, interruptores automáticos, ...)

EQUIPOS Y SISTEMAS A MANTENER

- 1) Transformadores de potencia
- 2) Transformadores de tensión
- 3) Transformadores de intensidad
- 4) Interruptores
- 5) Seccionadores
- 6) Fusibles
- 7) Pararrayos (Descargadores de sobretensión)
- 8) Reactores y capacitores
- 9) Sistemas de medición y control
- 10) Sistemas de protección
- 11) Sistemas de puesta a tierra
- 12) Cables desnudos de aluminio y cobre
- 13) Cables aislados de potencia, de fuerza y control
- 14) Sistema de apantallamiento
- 15) Celdas de media tensión 34,5/13,8 kV.
- 16) Sistema de instalaciones eléctricas e iluminación
- 17) Sistema de barras colectoras (buses)
- 18) Sistemas auxiliares de la s/e
- 19) Sistema de comunicaciones

PROCEDIMIENTOS DE SEGURIDAD PARA TRABAJOS EN SUBESTACIONES

Los trabajos eléctricos requieren de unos procedimientos de seguridad muy rigurosos y exigentes para minimizar al máximo los riesgos de accidente, por ello se han incluido en este documento. Son fundamentales en el mantenimiento de equipos eléctricos

PROCEDIMIENTOS DE SEGURIDAD GENERALES

- Todo trabajo eléctrico deberá estar soportado por un permiso de trabajo.
- Todo trabajo eléctrico deberá ser bloqueado y tarjeteado según un Instructivo Bloqueo y Tarjeteo.
- Todo trabajo en una instalación eléctrica sólo podrá ser realizada por personal calificado y autorizado.
- Los trabajadores no podrán realizar trabajos eléctricos con ningún objeto metálico tal como joyas, pulseras, cadenas u otros elementos conductores.
- Utilizar los elementos de protección personal adecuados como son: Casco dieléctrico, guantes de protección, etc
- Vestir ropa de trabajo sin elementos conductores y de materiales resistentes al fuego.
- Antes de iniciar los trabajos se comprobará el buen estado de las herramientas y se utilizarán herramientas dieléctricas.
- Planificar el procedimiento de trabajo, de forma que durante todo el trabajo se mantengan las distancias mínimas en las condiciones más desfavorables
- Toda persona que pueda tocar a un trabajador, bien directamente o por medio de una herramienta u otros objetos, deberá llevar botas y guantes aislantes.
- En caso de tormentas eléctricas, los trabajos serán interrumpidos o no iniciados, retirando al personal del área hasta que las condiciones atmosféricas vuelvan a ser favorables.
- Señalizar la zona de trabajo.
- No utilizar equipo eléctrico que esté mojado, ni trabajar con las manos húmedas.
- Todos los trabajos eléctricos deberán ser ejecutados mínimo por dos trabajadores.
- Para trabajos en tensión, se deben acatar las distancias mínimas de acercamiento.

REGLAS DE SEGURIDAD PARA REALIZAR TRABAJOS SIN TENSION

1ª - CORTE EFECTIVO DE TODAS LAS FUENTES DE TENSION

2ª - BLOQUEO DE LOS APARATOS DE CORTE O SECCIONAMIENTO E INSTALACIÓN DE SU RESPECTIVA SEÑALIZACIÓN.

3ª - COMPROBACIÓN DE AUSENCIA DE TENSION

4ª - PUESTA A TIERRA Y EN CORTOCIRCUITO DE TODAS LAS FUENTES POSIBLES DE TENSION

5ª - SEÑALIZACIÓN DE LA ZONA DE TRABAJO

12.- TRANSFORMADORES

TRANSFORMADORES



INTRODUCCIÓN

Durante muchos años, el mantenimiento preventivo de los transformadores ha estado basado en la determinación de la resistencia de su aislamiento junto con la medición de la rigidez dieléctrica de su aceite. Sin embargo, se sabe ahora que pruebas como el factor de potencia del aislamiento, contenido de humedad, tensión interfacial, acidez, etc., son muy importantes para obtener un diagnóstico más acertado del estado del transformador.

Actualmente el análisis de gases generados en el interior del transformador mediante cromatografía de gases es una herramienta muy útil a la hora de conocer el estado en que se encuentra el transformador, sin necesidad de sacarlo de operación.

Un transformador con su sistema de aislamiento adecuadamente mantenido, será capaz de soportar de una mejor manera problemas como: sobretensiones debido a maniobras o a descargas atmosféricas, cortocircuitos internos, etc.

COMPONENTES DEL TRANSFORMADOR

PARTES DE UN TRANSFORMADOR

- Núcleo
- Sistema de aislamiento (aceite y papel). Es el componente más importante y por tanto el que requiere mayor cuidado en el mantenimiento.
- Devanados
- Pasatapas
- Válvulas
- Radiadores

FACTORES QUE AFECTAN AL AISLAMIENTO

Existen cuatro factores que afectan al sistema de aislamiento de un transformador en aceite: *la humedad, el oxígeno, el calor y la contaminación externa*

La **humedad** puede presentarse en el interior del transformador de las siguientes maneras:

- De forma disuelta.
- En forma de una emulsión agua/aceite.
- En estado libre en el fondo del tanque.
- En forma de hielo en el fondo del tanque.

El efecto de la humedad en las propiedades aislantes del aceite depende de la forma en que esta exista. Una pequeña cantidad de agua en forma de emulsión agua/aceite reduce la rigidez dieléctrica del aceite. Sin embargo el agua disuelta en el aceite tiene poco o ningún efecto sobre la rigidez dieléctrica del mismo.

El **oxígeno** también puede crear problemas en un transformador, ya que éste reacciona con el aceite para formar ácidos orgánicos, agua y lodo. El oxígeno proviene de la atmósfera o es liberado por la celulosa como resultado de aplicarle calor.

El 90% del deterioro de la celulosa es de origen **térmico**. La degradación térmica del aislamiento es función del tiempo, de la temperatura y de cuán seco está el aislamiento. Las elevadas temperaturas causan un envejecimiento acelerado de la celulosa empleada como aislamiento, reduciéndose la rigidez mecánica y eléctrica de la misma, produciéndose la depolimerización o destrucción del papel; otros efectos debidos a las elevadas temperaturas son la generación de agua, materiales ácidos y gases (CO₂, CO).

Los contaminantes externos pueden presentarse en forma de “caspa”, provenientes del proceso de fabricación del transformador y que no han sido adecuadamente eliminados en el proceso de llenado del transformador con aceite. Partículas diminutas pueden desprenderse de la celulosa cuando el transformador está en servicio..

INSPECCIÓN PARA UN MANTENIMIENTO PREVENTIVO

| COMPONENTE | INSPECCIÓN |
|------------------------------|--|
| DEVANADOS | Resistencia DC Relación de transformación Resistencia de aislamiento Factor de potencia de aislamiento |
| PASATAPAS | Resistencia de aislamiento Temperatura (Termografía) Nivel de aceite |
| ACEITE DIELECTRICO | Rigidez dieléctrica Cromatografía de gases Tensión interfacial Contenido de agua Factor de potencia Sedimentos |
| CAMBIADOR DE TAPS BAJO CARGA | Temperatura (Termografía) Relación de transformación en todos los taps Rigidez dieléctrica del aceite Inspección de contactos - continuidad |
| CAMBIADOR DE TAPS SIN CARGA | Temperatura (Termografía) Relación de transformación en todos los taps Inspección de contactos - continuidad |
| NÚCLEO | Núcleo a tierra Resistencia de aislamiento del núcleo al tanque |
| TANQUE | Inspección visual (fugas, corrosión) Temperatura (Termografía) |
| RADIADORES | Temperatura (Termografía) Inspección visual (Fugas, limpieza, corrosión) |

13.- MOTORES ELÉCTRICOS

MOTORES ELÉCTRICOS



REGLAMENTO (CE) N.º 640/2009

Desde junio de 2011 está en vigor el Reglamento (CE) N.º 640/2009 de la Comisión Europea para motores eléctricos. El presente Reglamento establece los requisitos de diseño ecológico para motores asíncronos trifásicos de baja tensión con 2, 4 y 6 polos en el rango de potencia de 0,75 kW a 375 kW.

Cada requisito del diseño ecológico se aplicará de acuerdo con el siguiente **calendario**:

- **A partir de 1 de enero de 2015** los motores con una potencia nominal de salida de **7,5 a 375 kW** deberán o bien alcanzar el nivel de eficiencia **IE3**, definida en el Anexo I Número 1 del Reglamento, o corresponder al nivel de eficiencia **IE2** definido en el Anexo I Número 1 y estar equipados con un **cuentarrevoluciones**.
- **A partir de 1 de enero de 2017** todos los motores con una potencia nominal de salida de **0,75 a 375 kW** deberán o bien alcanzar el nivel de eficiencia **IE3**, definida en el Anexo I Número 1, o corresponder al nivel de eficiencia **IE2** definido en el Anexo I Número 1 y estar equipados con un **cuentarrevoluciones**.

El Reglamento permite al usuario utilizar o bien un motor IE3 (para revoluciones fijas o variables), o un motor IE2, en combinación con un cuentarrevoluciones. ***El usuario será el responsable del cumplimiento de los requisitos del Reglamento comunitario. El fabricante del motor deberá incluir las indicaciones correspondientes en el producto.***

Los ámbitos de aplicación y las exenciones detallados para los diseños especiales se pueden encontrar en el Reglamento (CE) N.º 640/2009 y el Reglamento (CE) N.º 4/2014.

GRADO DE EFICIENCIA

El grado de eficacia se determina de acuerdo con las especificaciones de la norma EN 60034-2-1.

En los motores de potencia inferior a 1 kW se aplica la medición directa. La inseguridad de medición de este procedimiento está clasificada como “baja”.

En los motores con una potencia a partir de 1 kW se aplica el procedimiento de pérdidas individuales. En este caso se determinan las pérdidas adicionales a partir de las pérdidas residuales. La inseguridad de medición de este procedimiento también está clasificada como “baja”.

La placa indicadora de potencia de los motores que ahorran energía incluye la indicación del grado de eficacia y la clase del grado de eficacia según la norma EN 60034-30.

GRADO DE PROTECCIÓN

El grado de protección del motor se indica en la placa de características, pero el de otros elementos acoplados al mismo puede ser distinto, por lo que hay que tener en cuenta este aspecto al instalar el motor. En instalaciones al aire libre (grado \geq IP44) es preciso proteger los motores de la acción directa de los agentes atmosféricos (lluvia, nieve, hielo).

ENSAYO DE AISLAMIENTO, INSPECCIÓN DE GRASA Y RODAMIENTOS

Antes de la primera puesta en marcha y en particular después de un almacenamiento prolongado, es preciso medir el valor de aislamiento del bobinado, entre fases y fases a tierra. La comprobación debe realizarse con no menos de 500 V de tensión de medición.

Durante e inmediatamente después de la medición, los bornes pueden quedar bajo tensión.

A 25°C y dependiendo de la tensión nominal de placa, deben obtenerse los siguientes valores mínimos:

| Potencia Nominal P_N (kW) | Resistencia de aislamiento relativa a la tensión nominal ($k\Omega / V$) |
|-----------------------------|--|
| $1 < P_N < 10$ | 6,3 |
| $10 < P_N < 100$ | 4 |
| $100 < P_N$ | 2,5 |

Después de almacenaje prolongado debe inspeccionarse visualmente la grasa de los rodamientos sustituyéndola por nueva si presentase endurecimientos. Después de tres años de almacenaje, la grasa deberá ser sustituida en todo caso. Después de cuatro años deberán sustituirse los rodamientos si fuesen del tipo cerrado (engrasados de por vida).

MANTENIMIENTO

Es necesario realizar el mantenimiento regularmente; las inspecciones y revisiones para reconocer y eliminar las averías a tiempo antes de que puedan acabar en daños serios. Ya que las condiciones de funcionamiento no se pueden definir exactamente, sólo se pueden indicar plazos generales condicionados al funcionamiento sin averías.

Estos plazos siempre se han de adaptar a las condiciones locales (contaminación, carga, etc.)

| Operación | Periodo de tiempo | Plazos |
|---|---------------------------------------|------------------------------|
| Primera inspección | Después de aprox. 500 h. de servicio | Como máximo después de ½ año |
| Control de los conductos de aire y de la superficie del motor | Según el grado de contaminación local | |
| Lubricar | Según indicaciones | |
| Inspección principal | Aprox. 10.000 h. de servicio | Una vez al año |
| Descarga de agua condensada | Según las condiciones ambientales | |

INSPECCIÓN INICIAL

La primera inspección del motor se debe realizar según las especificaciones tras aproximadamente 500 horas de servicio, pero como máximo tras medio año.

COMPROBACIONES

Con el motor parado

- Comprobación de los cimientos.

Con el motor en marcha:

- Comprobación de los parámetros eléctricos.
- Comprobación de las temperaturas de los cojinetes.
- Comprobación de los ruidos de funcionamiento.

INSPECCIÓN PRINCIPAL

Según las especificaciones se debe realizar una vez al año, tras aprox. 10.000 horas de servicio, una inspección principal del motor.

Las siguientes comprobaciones se realizan con el **motor parado**:

- Comprobación de los cimientos.
- Comprobación de la alineación del motor.
- Comprobación de los tornillos de sujeción.
- Comprobación de los cables y del material de aislamiento.
- Comprobación de la resistencia de aislamiento.

Las siguientes comprobaciones se realizan con el **motor en marcha**:

- Comprobación de los parámetros eléctricos.
- Comprobación de las temperaturas de los cojinetes.
- Comprobación de los ruidos de funcionamiento.

ALMACENAMIENTO DE LARGA DURACIÓN (MÁS DE 1 AÑO)

- 1) El almacenamiento de larga duración se debe realizar a prueba de vibraciones en locales cerrados, secos a una temperatura entre -20 y +40°C y en una atmósfera libre de gases agresivos, vapores, polvo y sales.
- 2) Los motores se deben transportar y almacenar preferentemente en el embalaje original.
- 3) No se permite el almacenamiento ni el transporte de forma apilada sobre las tapas del ventilador.
- 4) Las superficies metálicas desprotegidas se deben proteger con un protector anticorrosión de larga duración.
- 5) Si bajo las condiciones ambientales existentes aparece agua de condensación en los motores, se deben adoptar medidas de protección contra la humedad. En este caso será necesario utilizar un embalaje especial con una lámina herméticamente sellada o un embalaje con láminas de plástico y sustancias que absorban la humedad. Se deben introducir sustancias que absorban la humedad en la caja de bornes de los motores.

LIMPIEZA

El motor debe limpiarse regularmente para no interferir la acción del aire de refrigeración.

Normalmente será suficiente emplear aire comprimido libre de agua y aceite.

En particular es necesario mantener limpios los orificios de ventilación e intersticios entre las aletas.

El polvillo de carbón formado por la abrasión natural en el interior del motor o en el espacio de los anillos colectores se debe eliminar regularmente.