



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

MANTENIMIENTO A PRECALENTADORES DE AIRE
REGENERATIVO LJÜSTROM TIPO VERTICAL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

MONROY HERNANDEZ RAZIEL

ASESOR: ING. MARCOS BELISARIO GONZALEZ LORIA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



ESTADO NACIONAL
MEXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE

EXAMENES PROFESIONALES
ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Mantenimiento de precalentadores de aire regenerativo
Ljlnstrom tipo vertical.

que presenta el pasante: Raziel Ronroy Hernández
con número de cuenta: 09758375-0 para obtener el título de
Ingeniero Mecánico Electricista.

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 09 de Septiembre de 2004

PRESIDENTE Ing. Carlos Alberto Martínez Pérez

VOCAL Ing. José Antonio Barrera Rodríguez

SECRETARIO Ing. Marcos Belisario González Loria

PRIMER SUPLENTE Ing. Emilio Juárez Martínez

SEGUNDO SUPLENTE Ing. Guillermo Santos Olmos

Índice

Prologo.....	1
Objetivo.....	1
1 Principio de funcionamiento del precalentador de aire regenerativo Ljünstrom tipo vertical.....	2
1.1 Introducción.....	2
1.2 Economía por el uso del Ljünstrom.....	6
1.3 Información requerida para la selección de un calentador de aire Ljünstrom.....	9
1.4 Superficie de calentamiento de un precalentador de aire.....	12
1.5 Arreglo típico de rotor.....	14
1.6 Tipos de precalentadores Ljünstrom.....	17
2 Mantenimiento a sistemas que conforman al precalentador de aire regenerativo Ljünstrom tipo vertical.....	19
2.1 Unidad motriz.....	19
2.2 Funcionamiento del reductor de velocidad.....	21
2.3 Conceptos fundamentales sobre engranajes.....	23
2.4 Revisión y mantenimiento a rodamientos, soportes y guías principales....	39
2.5 Motor neumático auxiliar.....	64
3 Mantenimiento y/o rehabilitación a componentes del precalentador de aire regenerativo Ljünstrom tipo vertical.....	68
3.1 Soplador de hollín.....	68
3.2 Mantenimiento y lubricación.....	71
3.3 Canastas.....	74
3.4 Retiro e instalación de sellos.	80
3.5 Recomendaciones para la limpieza del precalentador regenerativo.....	83
3.6 Revisión y mantenimiento al sistema de lubricación.....	88

3.7 Cambio de solera y ángulo soporte del	
3.8 Proceso de manipulación utilizado en el mantenimiento del precalentador	99
regenerativo.....	92
4 Operación del precalentador regenerativo.....	99
4.1 Puesta en servicio del precalentador regenerativo Ljünstrom tipo vertical.....	99
4.2 Mantenimiento preventivo.....	103
4.3 Precauciones que deben tomarse cuando el precalentador de aire se va a operar o inspeccionar.....	104
4.4 Precauciones para paros de emergencia.....	105
4.5 incendios de precalentadores de aire.....	105
4.6 Puntos principales de inspección.....	106
4.7 Precauciones contra la corrosión y obstrucción.....	111
4.8 Paro del rotor con la caldera en operación.....	111
ANEXOS.....	114
Conclusiones.....	124
Bibliografía.....	125

Prologo.

El creciente costo de la operación y mantenimiento de una planta termoeléctrica, así como la disponibilidad de combustibles pesados, difíciles de manejar, que contienen elementos dañinos, como azufre y vanadio, ha estimulado las mejoras en los equipos recuperadores de calor que deben instalarse en un generador de vapor moderno.

Uno de los precalentadores mas usuales en todas las plantas termoeléctricas y en la industria es el precalentador Ljünstrom tipo regenerativo, equipo costoso por lo cual merece especial atención por parte del personal de operación y mantenimiento.

En este precalentador se aprovecha el calor de los gases de escape, que es transmitido al aire a través de numerosas placas onduladas con gran superficie de calefacción, dispuestas en un cuerpo cilíndrico que gira continuamente a baja velocidad.

A medida que el rotor gira lentamente, la masa metálica de los elementos pasa alternativamente de la corriente de gases a la corriente de aire, intercambiando el calor de una sección a la otra, el resultado es que los gases se enfrían y el aire se calienta mejorando la eficiencia de los generadores de vapor.

Objetivo

Reducir los paros no programados al mínimo por medio de un programa que vigile continuamente el estado de los precalentadores regenerativos.

Reducir los costos de mantenimiento de emergencia provocados por un paro.

Prolongar la vida útil de los precalentadores regenerativos.

1. Principio de funcionamiento del precalentador de aire regenerativo Ljünstrom tipo vertical.

1 Principio de funcionamiento del precalentador de aire regenerativo Ljünstrom tipo vertical.

1.1 Introducción

Los precalentadores de aire se usan para precalentar el aire y reducir la temperatura de los gases que salen de la caldera o economizador a un nivel económico.

Se requiere relativamente gran superficie de calefacción debido a la pobre transferencia de calor existente de gas a gas. Hay dos tipos principales el de *superficie fija* y el *regenerativo*.

El primero consta de tubos y placas, como se muestra en la figura 1.1 y 1.2, dispuestas para que el flujo de gases vaya de un lado de la superficie y el aire del otro lado.

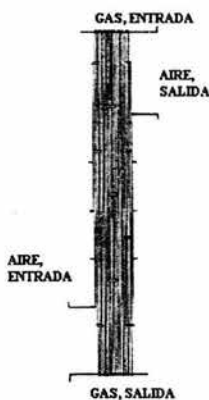


Fig. 1.1 Calentador de aire tubular de múltiples pasos. El gas pasa dentro de los tubos, el aire en la parte externa. Dispositivos de varias mamparas se usan para obtener una buena transferencia de calor y distribución de aire.

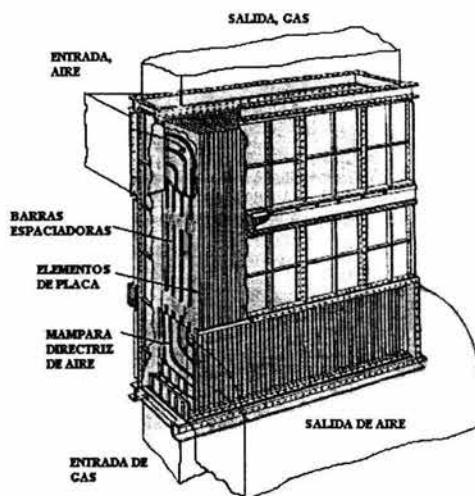


Fig. 1. 2 Precalentador de aire de placas en que el paso del gas y aire están en contracorriente en pasos alternados. El espacio de los pasos ayuda al gas a estar en contacto con los elementos adyacentes.

El calor es transmitido a través de los tubos de manera que caliente al aire y enfríe a los gases. Los flujos van en contra flujo para obtener el máximo de aprovechamiento para un tamaño dado de calentador de aire. Las temperaturas de los gases deben ser tan bajas como sea posible para reducir las pérdidas de flujo de gas a un mínimo. Sin embargo, si la superficie del metal del calentador es demasiado fría, la humedad en el flujo de gas se condensará, esta condensación será corrosiva al metal de los tubos o placas particularmente, si el combustible que se quema contiene un alto porcentaje de azufre. La corrosión ocurrirá en el lugar en donde el aire frío entra en contacto con el calentador.

Los calentadores se hacen por lo común de dos secciones, esto es, la parte que está más fría y sujeta a corrosión puede ser fácilmente reemplazada

cuando sea necesario. Un metal resistente a la corrosión se usa en la parte mas fría del precalentador de aire para dar mas vida a estos elementos.

El otro tipo de calentador de aire es el *regenerativo*, el cual se muestra en la figura 1.3 y esta sujeto a las mismas dificultades que es el de tipo de *superficie fija* en lo que se refiere a la corrosión.

Un gran núcleo de placas delgadas de metal colocadas en segmentos del núcleo cilíndrico rotativo, de tal forma que los gases puedan fluir libremente a través del rotor y paralelo a su eje de rotación. Se disponen de ductos de modo que permitan pasar el gas a través de un lado del núcleo del rotor que gira lentamente mientras que el aire pasa del otro lado moviéndose en dirección opuesta.

Sellos apropiados evitan fugas entre ductos de aire y gas. El metal del núcleo se calienta debido al gas que fluye a través de el pasando este calor al aire debido al movimiento de este núcleo así calentado.

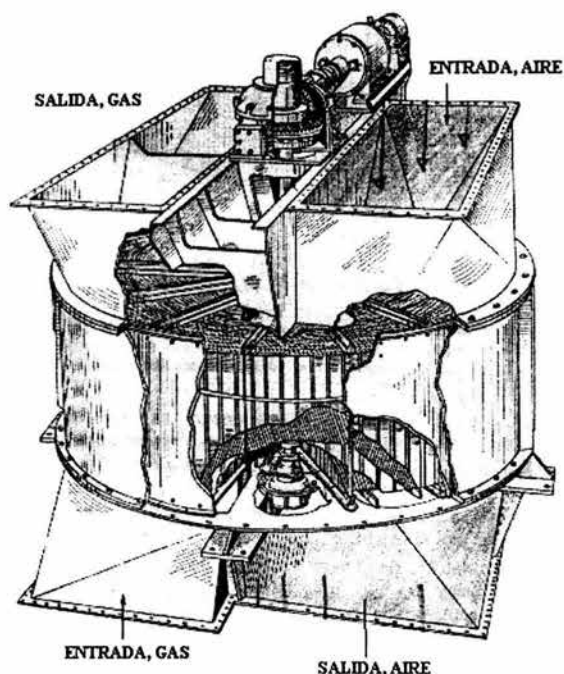


Fig. 1.3 Calentador de aire regenerativo cuya superficie de calentamiento es laminillas de acero. Esta dividida en dos partes, la superior es removible y es el área sujeta a mayor corrosión.

El calentador de aire regenerativo Ljünstrom es, en su definición mas simple, un intercambiador de calor cuyo diseño puede abarcar desde un tamaño 7 (dimensión en pies del diámetro del rotor) (2.13m) hasta un 36 (10.97m) y profundidades desde 20 pulgadas 0.5m, en los precalentadores pequeños, hasta 120 pulgadas (3.048m) en los mayores.

Los tamaños grandes de precalentadores, son comúnmente utilizados en plantas termoeléctricas.

El precalentador de aire Ljünstrom, absorbe el calor de los gases que provienen de la caldera y lo transfieren al aire de combustión mediante los elementos calefactores contenidos en las canastas. Dichas canastas se encuentran en continua rotación ya que se localizan en el rotor el cual, es impulsado por la unidad motriz en su periferia.

Es necesario para su óptimo funcionamiento, que en las infiltraciones del aire hacia el gas sean las menores posibles, por lo que se instalan los sellos del rotor. Dentro de esta clasificación se tienen los sellos radiales, sellos circunferenciales, sellos de poste y en tamaños mayores del 24 ½" (0.62m), los sellos axiales.

1.2 Economía por el uso del Ljünstrom.

En la operación de una caldera se requiere de una cantidad de calor para poder generar el vapor, dicho calor es logrado mediante la combustión que tiene lugar en el hogar de la caldera, sin embargo, después de aprovechar este calor las temperaturas de los gases que provienen de la combustión pueden fluctuar entre los 550°F (287°C) y 850°F (454°C) dependiendo de la unidad y proceso por lo que se puede tomar este calor mediante el Ljünstrom e introducirlo al hogar de la caldera a través de la elevación de la temperatura del aire para la combustión

De acuerdo con lo anterior, es fácil observar que, con el uso del Ljünstrom el mismo calor requerido en el hogar de la caldera ahora proviene de dos fuentes:

1. Combustible

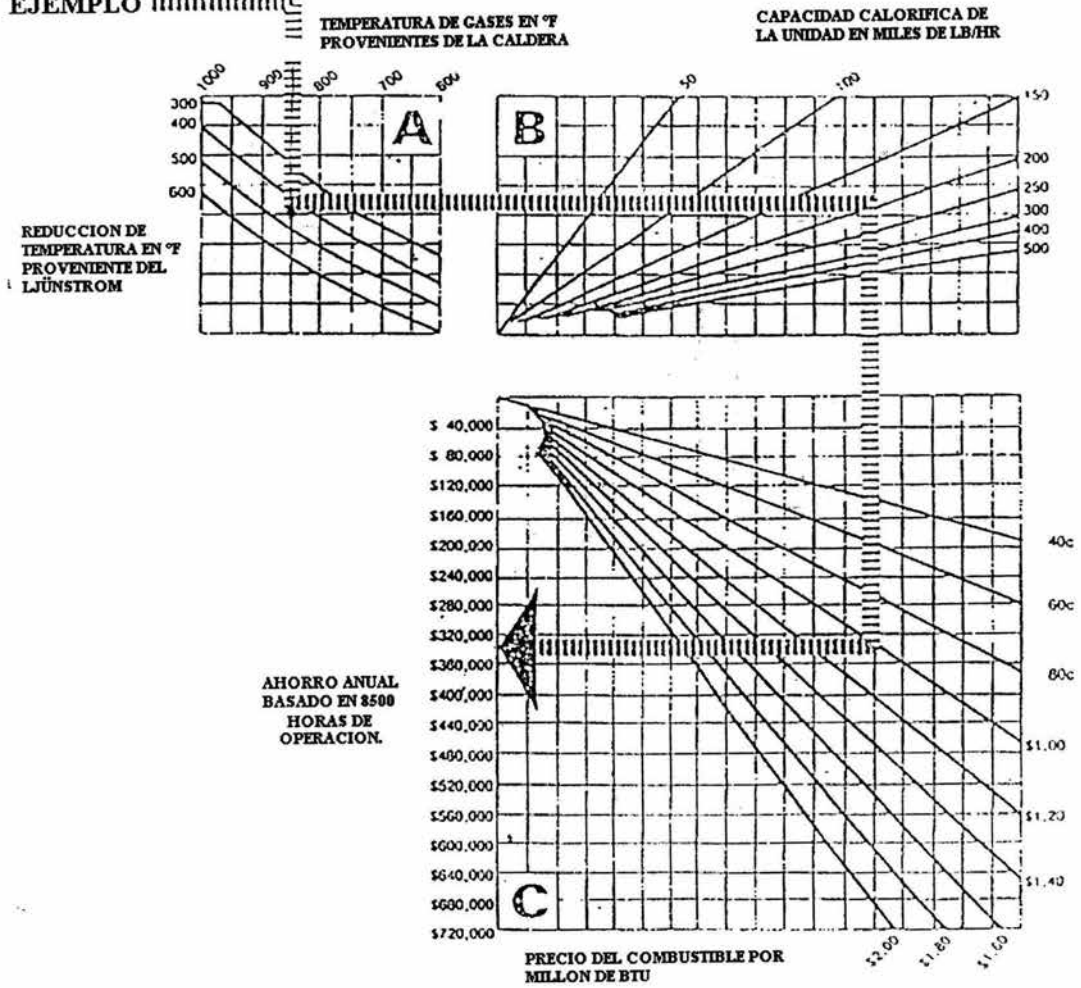
2. Calor recuperado

Consecuentemente, tendremos un ahorro de combustible equivalente al calor recuperado. Para darnos una idea de este ahorro podemos decir que este fluctúa entre el 10% y el 25% dependiendo del caso específico por condiciones de diseño y operación que se requieran para la unidad.

Al hablar de ahorro en combustible, hablamos obviamente de un ahorro económico el cual, varia dependiendo del caso específico que se maneje; por ejemplo, en la gráfica de economía 1.4 se puede apreciar que para una caldera que nos entrega gases a 850°F (454°C) como producto de combustión y reduciendo la temperatura mediante el Ljünstrom a 400°F (204°C), siendo esta unidad de 200,000 lb/hr (90,703 Kg/hr) y considerando el precio del combustible a \$1.00 dls. Por millón de BTU el ahorro anual seria mayor de \$320,000 dls.

En términos de eficiencia, aproximadamente por cada 40°F que se reduce la temperatura de los gases en el Ljünstrom, se incrementa la eficiencia del sistema en 1% adicional.

EJEMPLO



Grafica de economía 1.4

1.3 Información requerida para la selección de un calentador de aire Ljünstrom

1. Altura sobre el nivel del mar de la planta
2. Combustible
3. Cantidad de aire saliendo del calentador
4. Cantidad de gas entrando al calentador
5. Temperatura de aire entrando al calentador
6. Temperatura de gas entrando al calentador
7. Diferencial de presión del lado caliente del calentador
8. Temperatura promedio lado frío deseada
9. Temperatura de gas saliendo no corregida
- 10.a) Diferencial de presión total
 - b) Caída de presión lado de gas
 - c) Caída de presión lado aire

Nota: una por lo menos

11. Requerimientos especiales (si los hubiera)

1.3.1 Descripción de los conceptos de selección

1. Altura sobre el nivel del mar de la planta

La importancia de este punto es por el efecto que se puede tener en la selección y/o comportamiento del precalentador Ljünstrom debido a la presión atmosférica, es por eso que para una misma capacidad de caldera se puede tener distinto tamaño del precalentador, cuando se selecciona para distintas ciudades de instalación.

2. Combustible

Se debe conocer el combustible que será quemado en la caldera con el objeto de efectuar al diseño óptimo tanto en materiales como en dimensionamiento; principalmente si se trata de combustóleo por el alto contenido de azufre contenido en el.

3. Cantidad de aire saliendo del calentador

Es la cantidad de aire que se requiere para la combustión, se le agrega a esta las fugas normales de aire a gas para obtener la capacidad del ventilador de tiro forzado.

El flujo de aire saliendo del Ljünstrom nos determina además el tamaño del precalentador en cuanto a su diámetro

4. Cantidad de gas entrando al calentador

Al igual que el flujo de aire este dato nos determina el diámetro requerido del precalentador.

5. Temperatura de aire entrando al calentador

En este punto se considera la temperatura ambiente cuando se quema gas natural o cuando se diseñará el calentador de aire a vapor a la vez, cuando se tiene de antemano un calentador de aire a vapor, esta temperatura será la que nos entregue dicho equipo

6. Temperatura de gas entrando al calentador

Es la temperatura de los gases que provienen de la caldera, su importancia radica en que nos indica desde que valor se requiere disminuir la temperatura,

es decir, recuperar calor para definir la profundidad del Ljünstrom (temperatura de los gases 550-580°F) (288-454 °C)

7. Diferencial de presión del lado caliente del calentador

Es la caída de presión del sistema, excluyendo al Ljüngstrom y es determinante en el cálculo de las fugas directas de aire a gas.

8. Temperatura promedio lado frío deseada

En el caso del combustoleo, por diseño se considera de 240°F (115°C) a 250°F (121°C) por ser puntos óptimos para la eficiencia del sistema con una baja corrosión esperada; sin embargo el precalentador puede ser diseñado para cualquier temperatura que se desee, con los materiales adecuados.

9. Temperatura de gas saliendo no corregida

Es la temperatura que se requiere entregar a chimenea, obviamente nos determina la eficiencia adicional del sistema y su valor puede fluctuar entre 302°F (150°C) y 350°F (176°C)

10. Caída de presión lado gas, aire o total del sistema.

Nos indica la limitante para el diámetro del rotor ya que, se puede dar la superficie de transferencia de calor requerida con distintas combinaciones de profundidad y diámetro.

1.4 Superficie de calentamiento de un precalentador de aire.

$$t_m = \frac{t_{g-e} + t_{g-s}}{2} - \frac{t_{a-s} + t_{a-e}}{2}$$

S_c = Superficie de calentamiento del precalentador, en m^2

V_o = Volumen de aire que pasa por el precalentador, en Nm^3/h .

C_a = Calor específico medio del aire, en $Cal./Nm^3$. (Puede tomarse $C_a = 0.32$).

t_{a-e} = Temperatura del aire a la entrada del precalentador, en $^{\circ}C$ (temperatura ambiente)

t_{a-s} = Temperatura del aire a la salida del precalentador, en $^{\circ}C$

V_g = Volumen de los gases que pasan por el precalentador en Nm^3/h .

C_g = Calor específico medio de los gases en $Cal./Nm^3$ (puede tomarse $C_g = 0.33$)

t_{g-e} = Temperatura del gas a la entrada del precalentador, en $^{\circ}C$

t_{g-s} = Temperatura del gas a la salida del precalentador, en $^{\circ}C$.

$[t_{g-s}] > 180^{\circ}C$, para tiro natural y $[t_{g-s}] > 130^{\circ}C$, para tiro artificial.

R = Rendimiento del precalentador ($R = 0.90$)

Q_g = Cantidad de calor que ceden los gases, en $Cal.$ Por h

Q_a = Cantidad de calor que absorbe el aire, en $Cal.$ Por h .

K = Coeficiente de transmisión de calor en $Cal./h$ por m^2 , por $^{\circ}C$, puede tomarse considerando que es pequeño el espesor de las paredes, un valor de 12 $Cal.$ por m^2 por $^{\circ}C$, para velocidades usuales de aire y gases de 5 a 7 m/s

t_m = Diferencia media de temperaturas entre gas y aire, en $^{\circ}C$, para corrientes perpendiculares y contracorrientes, puede tomarse con suficiente aproximación.

Se tiene:

Calor que absorbe el aire:

$$Q_a = V_a C_a (t_{a-s} - t_{a-e}) \text{ Cal por h}$$

Calor que ceden los gases:

$$Q_g = V_g C_g (t_{g-e} - t_{g-s}) \text{ Cal por h}$$

Calor útil que ceden los gases:

$$Q_g R \text{ Cal por h}$$

De esto se deduce:

$$Q_a = Q_g R$$

La superficie de calefacción, que depende del coeficiente de transmisión del calor y de la diferencia media de la temperatura entre gas y aire, estará relacionada con la cantidad de calor que ceden los gases, en la forma:

$$S_c k t_m = Q_g$$

Por lo tanto

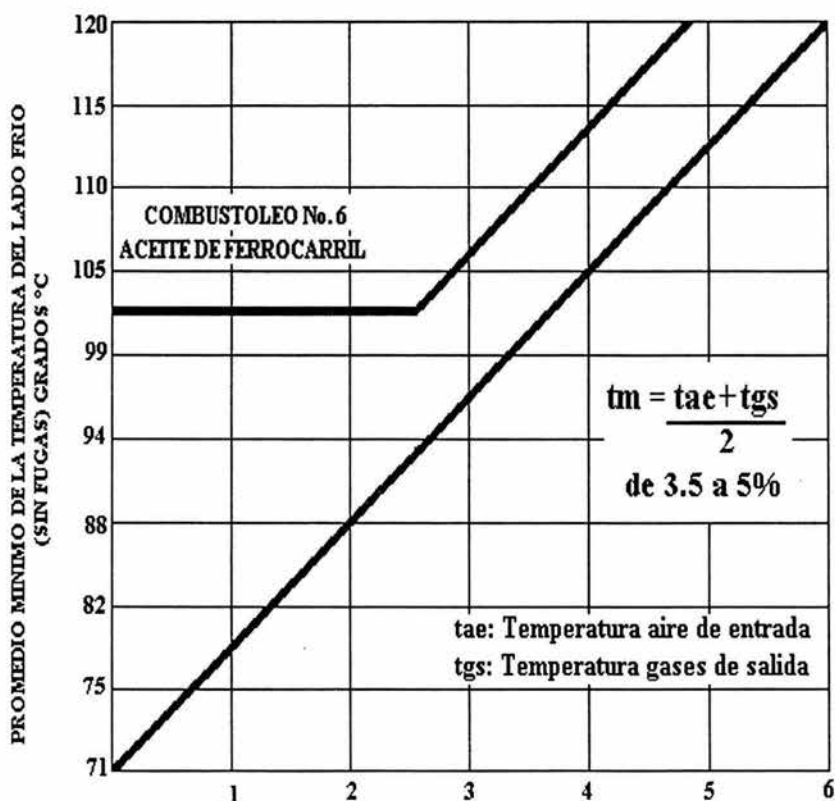
$$S_c = Q_g / k t_m$$

Los precalentadores de aire mejoran el rendimiento de la central de un 3 a un 5%.

Las pérdidas de presión en el precalentador, no deben ser mayores de 150mm de columna de agua en el flujo de aire y de 100mm en el de los gases.

En los precalentadores de placas estos se colocan a una distancia de 20mm a 40mm, para el paso de los gases y no a menos de 6mm para el paso del aire. Las placas son de fierro con espesor de 2mm a 4mm.

1.4.1 Escala de temperatura del lado frío para la selección y operación de los precalentadores de tipo regenerativo



1.5 Arreglo típico de rotor

El rotor es una cavidad cilíndrica dividida en secciones radiales, las placas radiales o diafragmas son unidas a una flecha cilíndrica llamada poste de rotor.

La posición del rotor es el factor que determina el tipo de unidad cuando el flujo del gas va en sentido vertical y hacia arriba el calentador es del tipo vertical (V); si va hacia abajo es vertical invertido (VI). El rotor es girado por el piñón de la unidad motriz como el mostrado en la figura 1.5

Un flujo horizontal a través del rotor determina un calentador tipo horizontal (H); dentro de los calentadores horizontales se cuenta con dos arreglos, ducto sobre ducto y ducto a lado de ducto.

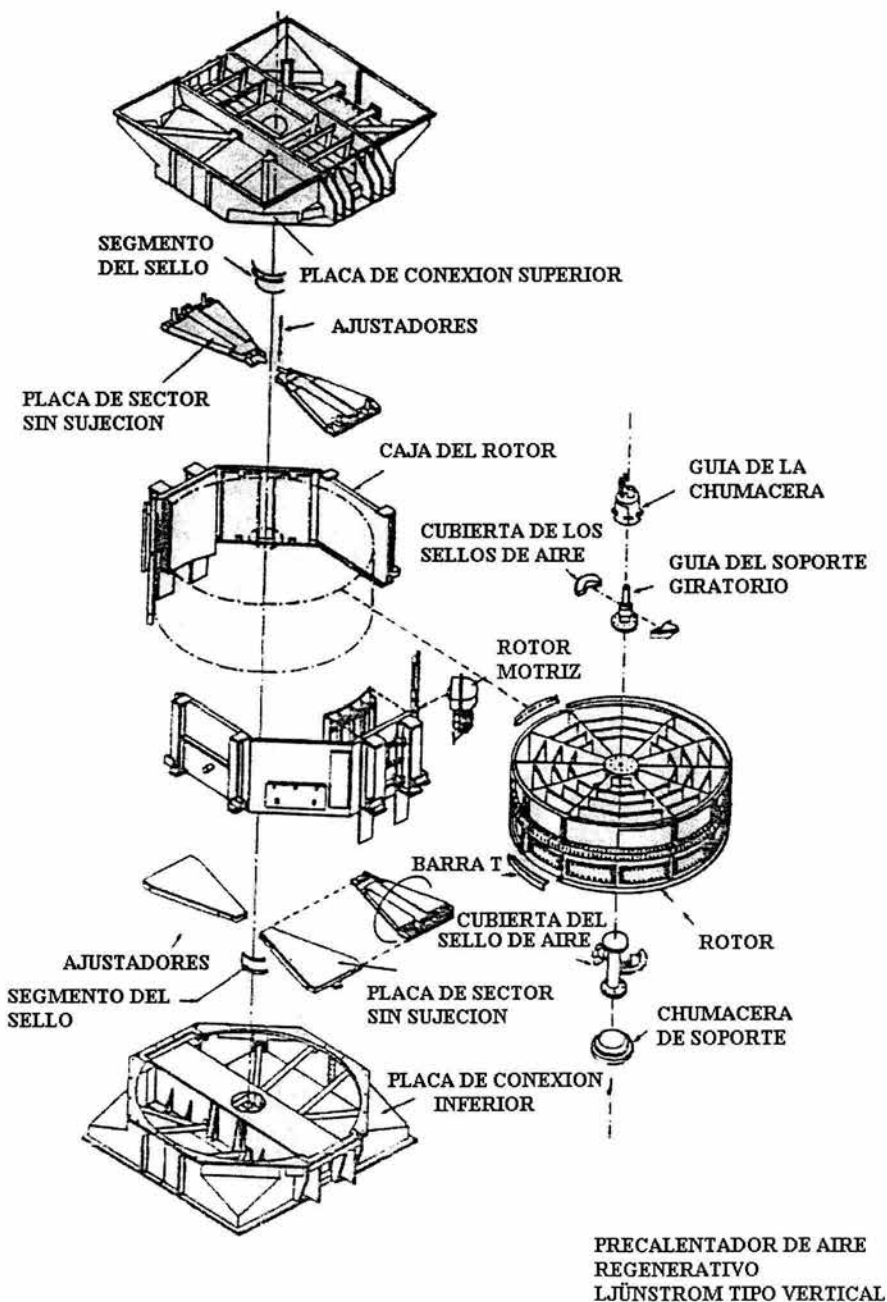


Fig. 1.5 precalentador de aire regenerativo Ljungström tipo vertical

1.6 Tipos de precalentadores Ljünstrom

1.6.1 Paquete

Se construyen en tamaños de 11 a 16 ½” (0.279 a 0.419m) y se arma en una planta listo para instalarse en la base respectiva conectándose a los ductos de aire y gas de los generadores de vapor, así como a las líneas de enfriamiento de agua, línea de vapor para el soplado y a las líneas de corriente eléctrica para el motor accionador.

Estos calentadores se usan en generadores de vapor de capacidades máximas de 100,000 a 125,000 lbs/hr (45,351 a 56,689 Kg/hr); el límite de tamaño esta limitado por los medios de transporte normalmente disponibles, se pueden instalar dos unidades paquete en generadores de vapor de doble capacidad.

1.6.2 Semi – Paquete

Similar a la anterior, pero embarcado en secciones para armarse en el campo, se construyen en tamaños del 17 a 18 ½” (0.431 a 0.469m), para generadores de vapor hasta de 250,000 lbs/hr (113,378 Kg/hr); se pueden instalar dos unidades paquete en generadores de vapor de doble capacidad.

1.6.3 Modelo “R”

Es un diseño mas ligero, de menor costo, fue fabricado por primera vez en 1965, para reemplazar a los precalentadores para servicio pesado armados en el campo, se usan generadores de vapor de baja y mediana capacidad en plantas de servicio público y de mediana y gran capacidad para generadores de vapor industriales.

1.6.4 Modelo de “Placas de sector no – restringidas”

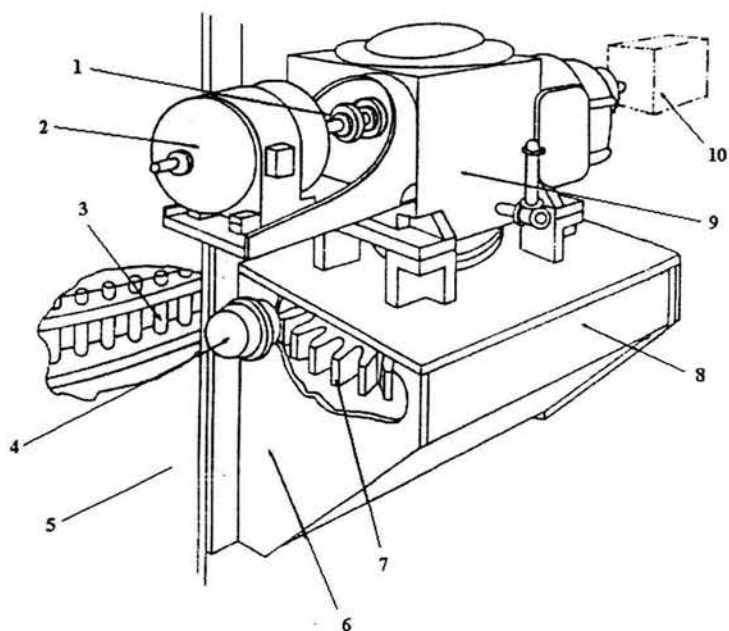
Son unidades para servicio pesado, de mejor diseño aunque mas costosas, con un sistema de sellos mas sofisticado, se usan en unidades de gran capacidad y se fabrican con rotores hasta de 17 mts.

**2. Mantenimiento a sistemas que conforman al
precalentador de aire regenerativo Ljünstrom
tipo vertical.**

2 Mantenimiento a sistemas que conforman al precalentador de aire regenerativo Ljünstrom tipo vertical.

2.1 Unidad motriz

La fuerza para girar el rotor es aplicada en la periferia de este, la cremallera montada en el rotor es engranada por un piñón, el cual se encuentra montado en la unidad motriz, la unidad motriz consta de motor eléctrico, reductor, motor neumático, coples y accesorios varios, los cuales se muestran en la figura 2.1



- | | |
|----------------------------------|-------------------------|
| 1 ACOPLAMIENTO DE ALTA VELOCIDAD | 6 SOPORTE |
| 2 MOTOR | 7 ENGRANE |
| 3 BASTIDOR DE PERNOS | 8 CUBIERTA DEL ENGRANE |
| 4 MIRILLA DE INSPECCION | 9 REDUCTOR DE VELOCIDAD |
| 5 ALOJAMIENTO DEL ROTOR | 10 AUXILIAR MOTRIZ |

Fig. 2.1 conjunto motriz del precalentador

Todas las unidades tienen el sistema perno – cremallera para mover el rotor. Se tiene una hilera de pernos, soportados en dos rieles circunferenciales fijados a la cubierta del tambor, el mecanismo accionador es una rueda dentada, cuyos dientes engranan entre los espacios de los pernos de la cremallera, haciendo girar el tambor.

La rueda dentada está colocada en la flecha del reductor de velocidad del motor eléctrico motriz.

Los pernos de la cremallera tienen una dureza Brinell mucho mayor que la de la rueda dentada, la cual es más fácil reemplazar en caso de desgaste.

Los precalentadores paquete y semi paquete, tienen un motor reductor integral, mientras que las unidades tipo “R” o más grandes están equipadas por reductores de velocidad de engranes internos diseñados así para soportar el impacto debido al movimiento del motor eléctrico.

Este motor se conecta a la flecha de alta velocidad del reductor por medio de un cople flexible, para prevenir una falla de corriente eléctrica se puede instalar un motor auxiliar de aire accionado mediante un “clutch” y una válvula solenoide para suministrar aire al motor, evitando que el motor deje de girar.

En unidades muy grandes se usa un cople hidráulico, entre el rotor eléctrico y el engrane reductor, con objeto de proteger los dientes del engrane reductor y para ayudar a que el rotor alcance lentamente la velocidad de operación.

Los puntos a inspeccionar son los siguientes:

- a) Revisar rueda dentada del reductor
- b) Revisar claro entre perno y cremallera (21/64")
- c) Revisar motor de aire y filtros
- d) Revisar reductor

2.2 Funcionamiento del reductor de velocidad

2.2.1 Engranajes

Uno de los dispositivos mecánicos para transmitir potencia a diferentes velocidades, es el engrane o rueda dentada.

El engrane, básicamente es una rueda que en su periferia esta cortada en forma de dientes y que se ajusta a otra rueda similar, para transmitir potencia y movimiento, cambiando de velocidad o de dirección. Generalmente se encuentran en reductores o incrementadores de velocidad, o cualquier mecanismo en que se requiera cambios de dirección.

2.2.2 Cremallera

Formada por dientes rectos y es utilizada para transformar un movimiento de rotación en uno rectilíneo y viceversa

2.2.3 Engrane sinfín

El engranaje del tornillo sinfín mostrado en la figura 2.2 se utiliza para transmitir la potencia entre ejes que se cruzan, casi siempre perpendicularmente entre sí. En un pequeño espacio se pueden obtener satisfactoriamente relaciones de velocidad comparativamente altas.



Fig. 2.2 Tornillo sin fin y rueda dentada de tornillo sin fin

Estos son utilizados generalmente, en reductores de velocidad. Exclusivamente el sinfín, puede mover la corona, pero nunca al revés, ya que provocaría un gran esfuerzo de rozamiento, que dañaría el equipo.

Los engranes sinfín, pueden ser sencillos, dobles, triples, etc. Dependiendo del número de hilos o dientes que tengan, que es lo que determina la relación de velocidad. En las siguientes figuras 2.3 Y 2.4 se muestran algunos tipos de reductores de velocidad



Fig. 2.3 Reductor de velocidad de tornillo sin fin. Este modelo esta refrigerado por circulación de aire alrededor de la superficie exterior del pozo de aceite, la cual esta nervada para aumentar el área de transferencia

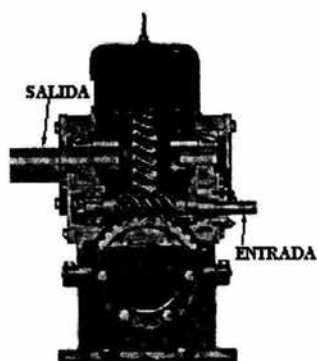


Fig. 2.4 Vista de extremo de una transmisión de tornillo sinfín de doble reducción. El segundo tornillo sinfín está detrás de la rueda pequeña no visible. Obsérvese el gran aumento de diámetro del árbol de salida con respecto al de entrada.

2.3 Conceptos fundamentales sobre engranajes

Los cálculos y técnicas para el proyecto de los diferentes engranes, son complicados y caen dentro de una especialidad de la ingeniería mecánica. Por lo que no nos ocuparemos de eso, ya que el propósito de este capítulo es darle el conocimiento práctico e indispensable para enfrentarse a los problemas mecánicos de la maquinaria en estudio

Paso diametral (PD) – Es la relación que existe entre el número de dientes y el diámetro primitivo o de paso (DP), medido en pulgadas.

$$PD = \frac{N}{DP}$$

Esta es la base para el cálculo de engranes en el sistema inglés. Para el métrico se utiliza el “módulo” (M), que es la inversa de lo anterior, o sea el diámetro primitivo, medido en milímetros entre el número de dientes.

$$M = \frac{DP}{N}$$

Relación de velocidad – En cualquier tipo de engranes, la relación de velocidad, será inversamente al número de dientes, o sea que a mayor numero de dientes del engrane, menor será la velocidad del mismo.

La relación de velocidad, será igual a la relación del número de dientes.

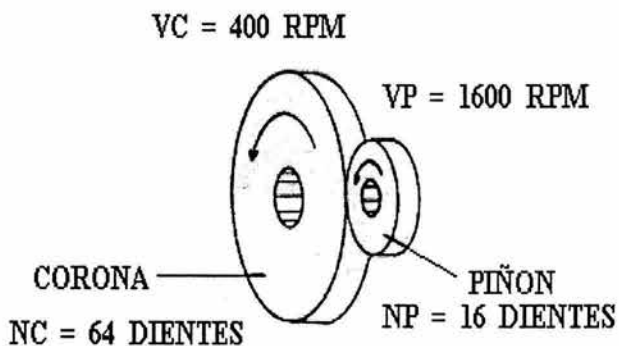
Ejemplo

$$\frac{VP}{VC} = \frac{1600}{400} = 4$$

$$\frac{NC}{NP} = \frac{64}{16} = 4$$

POR LO TANTO

$$\frac{VP}{VC} = \frac{NC}{NP}$$



Relación del engrane – Es el número de dientes de la corona entre el número de dientes del piñón.

$$R = \frac{NC}{NP}$$

2.3.1 Puesta en servicio de engranajes nuevos

El proceso de rodaje inicial de cualquier caja de engranes, requiere de ciertas precauciones, ya que es necesario que las superficies de los dientes, se asienten entre sí, puliéndose mutuamente.

Generalmente el fabricante, indica el método a seguir para poner su equipo en servicio, pero si no fuera así, es recomendable seguir las siguientes recomendaciones.

- Cuando un engranaje entra en servicio por 1ª.vez, debe lubricarse con un aceite de una viscosidad un poco mayor a la recomendada.
- El rodaje inicial, deberá ser con carga muy ligera, o sin carga (o sea que no transmita movimiento o potencia) hasta que aparezca una línea o franja brillante (línea de contacto) a lo largo de la cara del diente
- Cuando el proceso de rodaje haya terminado, se deberá cambiar el aceite, ya que tendrá pequeñas partículas de metal debido al asentamiento del engranaje.

Nota 1 – En ciertos casos, cuando los engranajes nuevos, tienen que soportar su carga máxima, desde el principio pueden desprender un ligero humo, que no es de preocuparse siempre y cuando este tienda a disminuir hasta desaparecer, también en los engranajes nuevos que se someten a carga desde el principio, pueden aparecer en los dientes pequeñas cavidades (picado), que tienden a disminuir o desaparecer por efecto del pulido entre dientes.

Nota 2 – Cuando en un engranaje se cambia un engrane, es necesario repetir el proceso de rodaje inicial.

Nota 3 – Cualquier equipo nuevo o reparado, antes de ponerlo en servicio, se deberá mover manualmente para detectar posibles rozamientos o interferencia.

2.3.2 Inspección rutinaria de los engranajes

Estas revisiones deberán efectuarse periódicamente, de acuerdo con el manual del fabricante, o tomando como base el número de horas trabajadas, la carga de trabajo y el medio ambiente en el que está instalado el equipo, pero entre mas frecuentes sean estas inspecciones, mayor seguridad tendremos en

descubrir un problema y corregirlo antes de que ocurran daños mayores. Cualquier condición extraña, deberá investigarse a fondo.

Estando la unidad fuera de servicio, deberá verificarse que el nivel de aceite sea el correcto. La principal causa de falla de engranes, es por una lubricación inadecuada o una sobrecarga. Un excesivo nivel de aceite, puede ser tan dañino como la falta del mismo, ya que el exceso de lubricante, ocasiona un golpeo del aceite originando aumento de temperatura en todos sus componentes, una sobrecarga, es debida a vibraciones, choques, esfuerzos en las flechas, etc.

En equipos que cuentan con lubricación forzada o a presión, deberá consultarse con el manual del fabricante, para conocer las revisiones periódicas que se recomiendan, las cuales incluirán entre otras revisión, limpieza y cambio de filtros.

2.3.3 Revisión del aceite

Antes de sacar una muestra de aceite, deberá esperar al menos 20 minutos con el equipo parado.

Revisión del contenido de humedad – Sobre una plancha o placa de acero caliente (160° C aproximadamente), vaciar unas gotas de la muestra de aceite, si este hierve, espúmea o aparece un ruido como chasquido, indicara que contiene agua. Y si por el contrario si las gotas de aceite se extienden y humean, nos indicara que **no** contiene agua la muestra de aceite.

El contenido de humedad del aceite, es debido generalmente a entradas de agua por empaques defectuosos o mal instalados.

Revisión de lodos o residuos – Vaciar unas gotas de la muestra de aceite, sobre un papel secante, limpio y blanco. Si se forma un anillo sobre el papel secante, será indicación de que el aceite contiene lodos.

En ambos casos, cambiar o filtrar el aceite limpiando el depósito y el interior de las tuberías.

Si al efectuar la inspección de la muestra de aceite, aparecieran partículas de metal, habrá que revisar todos los dientes, girando manualmente el eje impulsor, hasta que por lo menos los engranes hayan dado una vuelta completa.

2.3.4 Ajuste de engranes

Los equipos de engranajes nuevos, sean reductores, incrementadores de velocidad o cualquier transmisión, ya vienen de fabrica ajustados, por lo que un equipo nuevo, no es necesario efectuarle tales revisiones, sólo cuando se le cambien piezas o tenga cierto tiempo de uso.

El ajuste de engranes implica dos cosas:

- Juego entre dientes
- Y el contacto de los mismos.

2.3.4.1 Juego entre dientes.

Es el claro existente entre 2 dientes engranados, o sea lo que podrá moverse un engrane hacia uno u otro lado, sin mover al otro engrane.

Este juego, nos indica la separación entre engranes. Demasiado juego produce ruidos, operación brusca y choques; debido a que el contacto se esta realizando en las puntas de los dientes, lo anterior ocasiona disminución de la resistencia de dichos dientes.

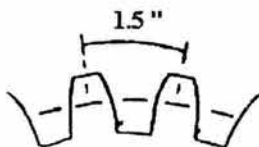
Juego pequeño; ocasiona desgaste prematuro ya que habrá excesivo rozamiento entre las superficies de contacto y una lubricación deficiente produce zumbido al trabajar.

Si no se cuenta con la información del fabricante, se puede calcular este juego entre dientes, de la siguiente manera.

Nota: esto es valido para cualquier tipo de engranajes, excepto tornillo sinfín.

$$J = 0.010 \times \text{PASO (en pulgadas)}$$

Ejemplo: como se muestra en la figura 2.5



$$J = 0.010 \times 1.5'' = 0.015''$$

O sea que el engrane de la figura debe tener un juego de quince milésimas de pulgada

Fig. 2.5 Juego entre dientes.

Recuerde que el cálculo anterior, no puede ser aplicado a tornillos sinfín.

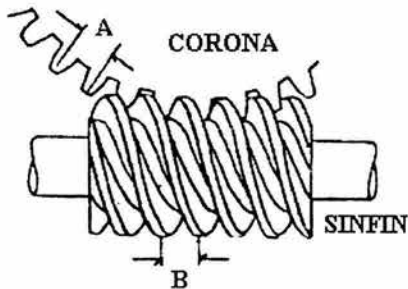
Para tornillos sinfín, se le aumentara 0.001'' (una milésima de pulgada) al cálculo anterior.

$$J = 0.010 \times \text{PASO} + 0.001''$$

El paso de la corona (A), es igual al paso lineal del sinfín (B) como se muestra en la siguiente figura 2.6, y es la distancia en pulgadas, entre un punto

sobre un hilo o diente a otro punto correspondiente, sobre el siguiente hilo, midiéndose en una dirección paralela al eje.

Ejemplo: suponiendo que el paso del sinfín (B) es 2"



$$J = 0.010 \times 2 + 0.001 \text{ " } = 0.021 \text{ "}$$

(veintiún milésimas de pulgada de juego)

Fig. 2.6 Juego entre corona y sinfín

Todos estos valores del juego entre dientes, pueden variar un 10% arriba o abajo.

En ambos casos, si los engranes trabajan a alta temperatura, este juego, deberá ser aumentado, sobre todo si son engranajes grandes (30" de diámetro)

2.3.4.2 Procedimiento para medir el contacto entre dientes:

Se mencionarán tres métodos para medir este juego y dependiendo las condiciones que se tengan se escogerá el mas apropiado para realizar esta medición.

1. Utilizando un indicador de carátula, colocado perpendicularmente a la cara del piñón, en la línea del diámetro primitivo o de contacto y moviendo el piñón hacia ambos lados sin que se mueva la corona.

2. Con un lainómetro introducido entre dientes en la zona de contacto

3. O en el mismo sitio, colocar un hilo de plomo suave y mover el piñón lo suficiente, para que aplaste dicho plomo, este espesor de aplastamiento, será el juego entre dientes.

2.3.4.3 Contacto entre dientes

Al hacer contacto los dientes, la huella marcada entre ellos, nos indica el alineamiento de los engranes, así también como el juego entre los dientes.

La superficie de contacto es la zona donde los diámetros primitivos se encuentran. Este contacto entre dientes, es una combinación de rodamiento y deslizamiento.

Para obtener la superficie de contacto de los engranes, se les unta una capa lo mas delgada posible de “azul de Prusia” (tinte de marcar) en el piñón y se hacen girar entre si varias vueltas, después de las cuales aparece en los dientes el área de contacto.

Otro método es el de introducir en cada diente del piñón, un pedazo de papel carbón y hacer girar los dientes.

Estas marcas dejadas en los dientes, nos mostrarán la posición de las flechas o ejes. A continuación en la figura 2.7 (a, b, c, y d), se muestran algunos ejemplos de las marcas de contacto.



CONTACTO CORRECTO

Área de contacto correcta:

El área de contacto “real” es mucho mayor bajo la carga de trabajo, además algunos engranes tienen un ligero abombamiento (saliente) en

la zona central, con objeto de contrarrestar el esfuerzo del diente. Cualquier marca del engrane fuera de la zona central, indicara desalineamiento de los ejes o distancia entre ellos incorrecta.

Fig. 2.7a

La marca tiende a irse al fondo, por estar muy cerrado el engranaje.



Fig.2.7b

Lo contrario del anterior, la marca hacia la punta del diente, por estar muy separados los engranes.



Fig. 2.7c



Estas son las marcas básicas en los dientes, aunque se podrán encontrar combinaciones de ellas.

Fig. 2.7 d

2.3.4.4 Corrección del juego entre dientes y alineamiento de ejes.

Cuando se trate de ejes paralelos, bastará con mover una de las flechas, generalmente el piñón hacia donde se requiera como se muestra en la figura 2.8 (a y b).

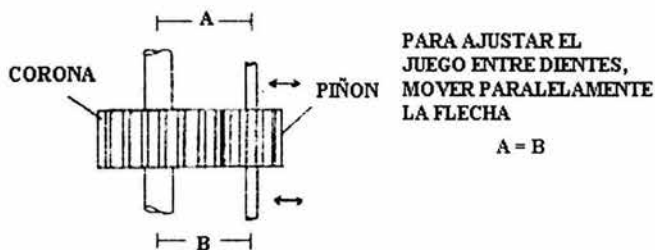


Fig. 2.8a

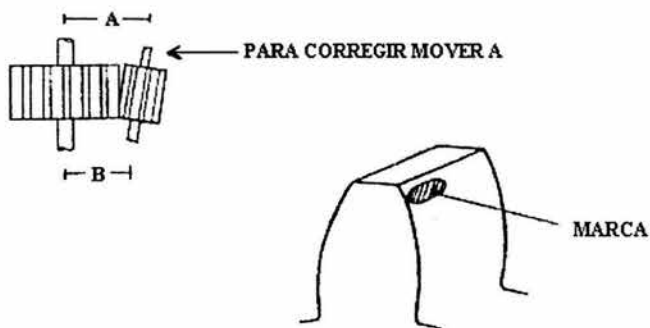


Fig. 2.8b

Cuando sean ejes perpendiculares, como en el casos de engranajes cónicos, generalmente se tendrán que mover ambas flechas; para tal efecto, se utilizarán láminas de ajuste que van colocadas en el respaldo de los rodamientos, como se ilustran algunos ejemplos a continuación en la figura 2.9

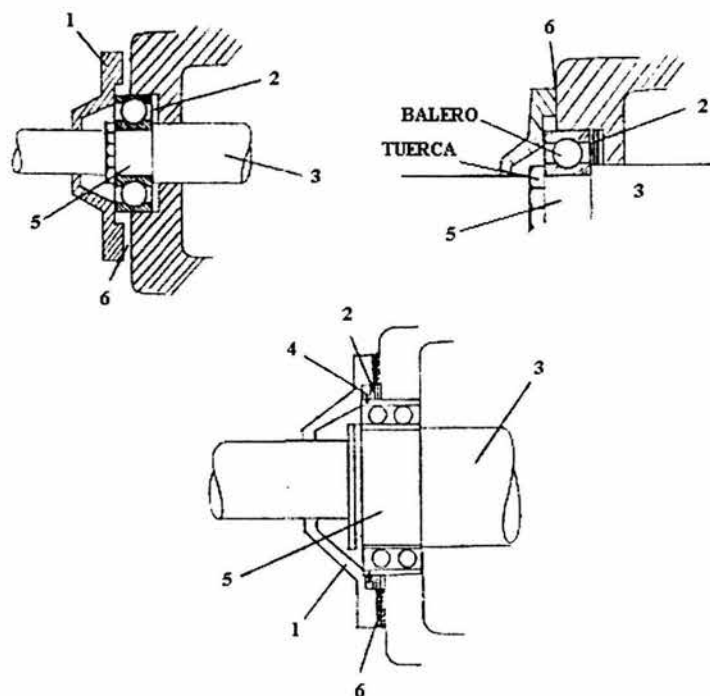


Fig. 2.9

1. Tapa del balero: aparte de cubrir el balero, lo empuja contra las lánas de ajuste
2. Lánas de ajuste: son las que se utilizan para mover la flecha y dar el ajuste requerido en el engranaje.
3. Flecha
4. Anillo tope del balero: algunos baleros, cuentan con este anillo
5. Balero

6. Empaques.

2.3.5 Diagnóstico de falla de los engranes.

Desgaste normal – Se puede considerar normal, una franja formada por un leve picado (cavidades), a lo largo del diente, siempre y cuando, esta franja no se haga mas grande o el picado mas intenso, ya que entonces, sería picado destructivo, que dañaría la superficie del engrane formando

El picado destructivo presenta cavidades mas profundas que el picado normal y son debidas a sobrecarga o desalineamiento. Generalmente estas picaduras, son progresivas, llegando a cubrir la

cavidades, este tipo de picado se ilustra en la figura 2.10

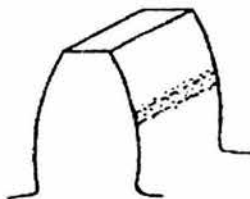


Fig. 2.10 Picado normal.

superficie de contacto del diente, aumentando su profundidad y llegando a fracturar el diente, la figura 2.11 presenta un ejemplo de picado destructivo



Fig. 2.11 Picado destructivo.

También el picado, es debido a la presencia de humedad en el aceite. Cuando este picado se presenta solo en un extremo del diente, el problema será mala alineación de los engranes.

Para corregir el picado destructivo, deberá verificarse la alineación, bajar la carga (lo cual muchas veces no es posible) y cambiar el material del engrane por uno de mayor resistencia.

2.3.6 Desgaste por pérdida de la película de lubricante.

Estos desgastes son provocados por contactos metal con metal, que atraviesan la capa de lubricante, debido a su baja viscosidad.

Esta mala lubricación, generalmente se debe a:

- Mala selección del lubricante
- Nivel inadecuado del lubricante o flujo incorrecto hacia los engranes
- Alta temperatura: esta baja la viscosidad del lubricante pudiendo ablandar el material del diente, tendiéndolo a deformar. En este caso aparece una coloración “azulada”, que indica que el equipo trabajó a temperaturas elevadas.
- Mal alineamiento de los engranes, provoca sobrecarga, que rompe la película del lubricante.
- Rayado en la cara del diente y en dirección al desalineamiento. Esto puede ser originado por partículas abrasivas (tierra, arena), que con un análisis del aceite, puede eliminar esta última

causa, como se ilustra en la figura 2.12.



Fig. 2.12 Rayado en la cara del diente

Falla del diente – la falla total del diente será por fractura o ruptura, ocasionada por sobrecarga o fatiga, en la figura 2.13 se muestran dientes de engrane que tuvieron este tipo de fallas.

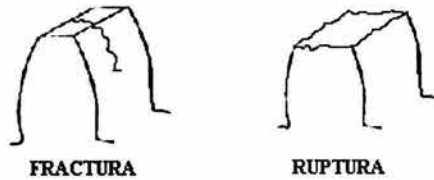


Fig. 2.13 Fallas en dientes de engranes mas comunes

Falla por sobrecarga – En este tipo de falla, el engrane se rompe súbitamente y al analizar la parte rota, se observan granos gruesos rugosos, que cubren toda superficie.

Las causas mas comunes de esta falla: alineación incorrecta, juego entre dientes inadecuado, incrustaciones de materias extrañas entre dientes o un picado excesivo.

Falla por fatiga – En este caso el engrane presenta una ruptura inicial, debida a esfuerzos repetidos y de flexión. Esta ruptura inicial, va en aumento, hasta la falla total. El diente roto, presenta dos tipos distintos de textura, uno de los cuales, será la zona donde se inicia la fatiga. Las causas pueden ser las mismas que en la sobrecarga.

Deformación del diente – Esto es provocado por sobrecargas en dientes fabricados con material blando, ocasionando que el diente se deforme como aparece en la figura 2.14.



Fig.2. 14 Deformación del diente

2.3.7 Desmontaje de engranajes.

Para extraer un engranaje, la fuerza a aplicar, será lo mas cerca posible del centro del engrane y si es necesario golpear, utilizar un material suave (cobre, aluminio, bronce, etc). En la figura 2.15 se muestra un ejemplo para la extracción de un engrane.

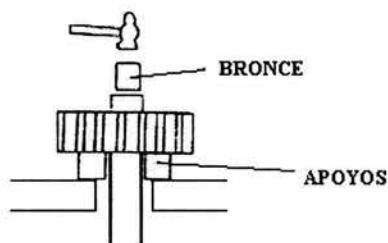


Fig. 2.15 Desmontaje de un engrane.

Antes de sacarse un engrane de su sitio, deberá marcarse con un punto o punzón, para asegurar su correcta posición de armado, ya que de lo contrario, provocaría ruidos el engranaje, hasta que se amoldaran los dientes a su nueva posición.

Además de que se puede provocar vibración el no colocar el engrane en su lugar exacto. Si un engrane esta acoplado a 2 o mas engranes, deberán señalarse con distintas marcas, como ejemplo se muestran las figuras 2.16 (a, b y c)



Fig. 2.16a Formas correctas.



Fig. 2.16b forma incorrecta

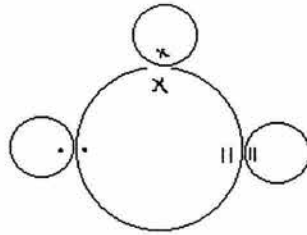


Fig. 2.16c varios engranes, se marcaran diferentes, para evitar confusión

2.3.8 Materiales utilizados

Dependiendo de la clase de trabajo, pueden estar constituidos de fierro fundido(fierro gris), acero al carbón con o sin tratamiento térmico, fibras, etc.

Cuando son engranes de gran tamaño y por lo mismo muy costosos, estos pueden ser regenerados si algún diente se rompió, como se ilustra en la figura 2.17 para ello se sugiere proceder de la siguiente manera:

- Efectuar dos o mas barrenos en la base del diente afectado
- A dichos barrenos se les pasa un machuelo y se les ponen tornillos para formar el refuerzo
- Se le aplica soldadura maquinable, del tipo del material del engrane.
- Y ayudándose con una plantilla de lámina, se le da el perfil correcto, utilizando lima o esmeríl, según el caso.

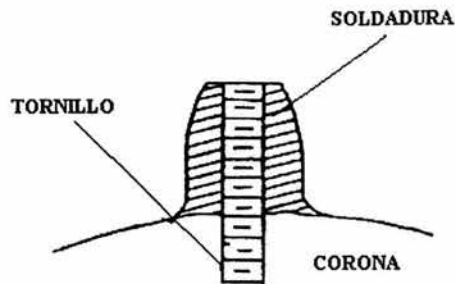


Fig. 2.17 Diente de engrane regenerado.

2.4 Revisión y mantenimiento a rodamientos, soportes y guías principales.

Esta actividad consta de la revisión, mantenimiento y limpieza del alojamiento de la chumacera de carga tipo Kingsbury y el rodamiento guía.

2.4.1 Cojinetes

La mayor parte de las unidades están equipadas con chumaceras de rodillos antifricción, seleccionadas para una vida útil de aproximadamente 15 años.

En las grandes unidades de flecha vertical se usan chumaceras de rodillo autoalineable ó tipo Kingsbury de empuje.

Las chumaceras de “guía” en unidades grandes son del tipo de doble hilera de rodillo para trabajos pesados, para soportar cargas laterales causadas por los sellos axiales y el sistema de guías de las placas de sector restringidas.

En unidades horizontales se usan chumaceras de dos hileras de rodillos para ambos extremos, y como regla general, se deben usar el mismo tamaño y diseño de chumaceras en ambos lados de la flecha.

La chumacera del extremo frío, es la “*fija*” y la del extremo caliente es la “*flotante*”. En unidades pequeñas la pista exterior de la chumacera (de bolas o rodillos) del lado caliente, tienen libre movimiento axial a través del conducto cilíndrico de la caja de dicha chumacera para absorber expansiones térmicas de la flecha del rotor.

En unidades mas grandes, la caja de la chumacera del lado caliente se apoya en tres balancines (Rockers) para permitir el movimiento debido a la expansión térmica axial del rotor o de cualquier movimiento axial del soporte de la chumacera.

En unidades pequeñas, la pista interior de la chumacera de rodillos se fija a un muñón recto por medio de un manguito cónico.

En unidades grandes la pista interior es directamente forzada contra la superficie cónica del muñón

Los puntos de inspección a los cojinetes de los precalentadores regenerativos son los siguientes:

- Revisión de huelgos entre pista y rodillos en la parte superior del cojinete.
- Verificar si es necesario limpieza y cambio de aceite.

La figura 2.18 muestra una vista típica de la chumacera de carga del precalentador regenerativo tipo vertical (lado caliente).

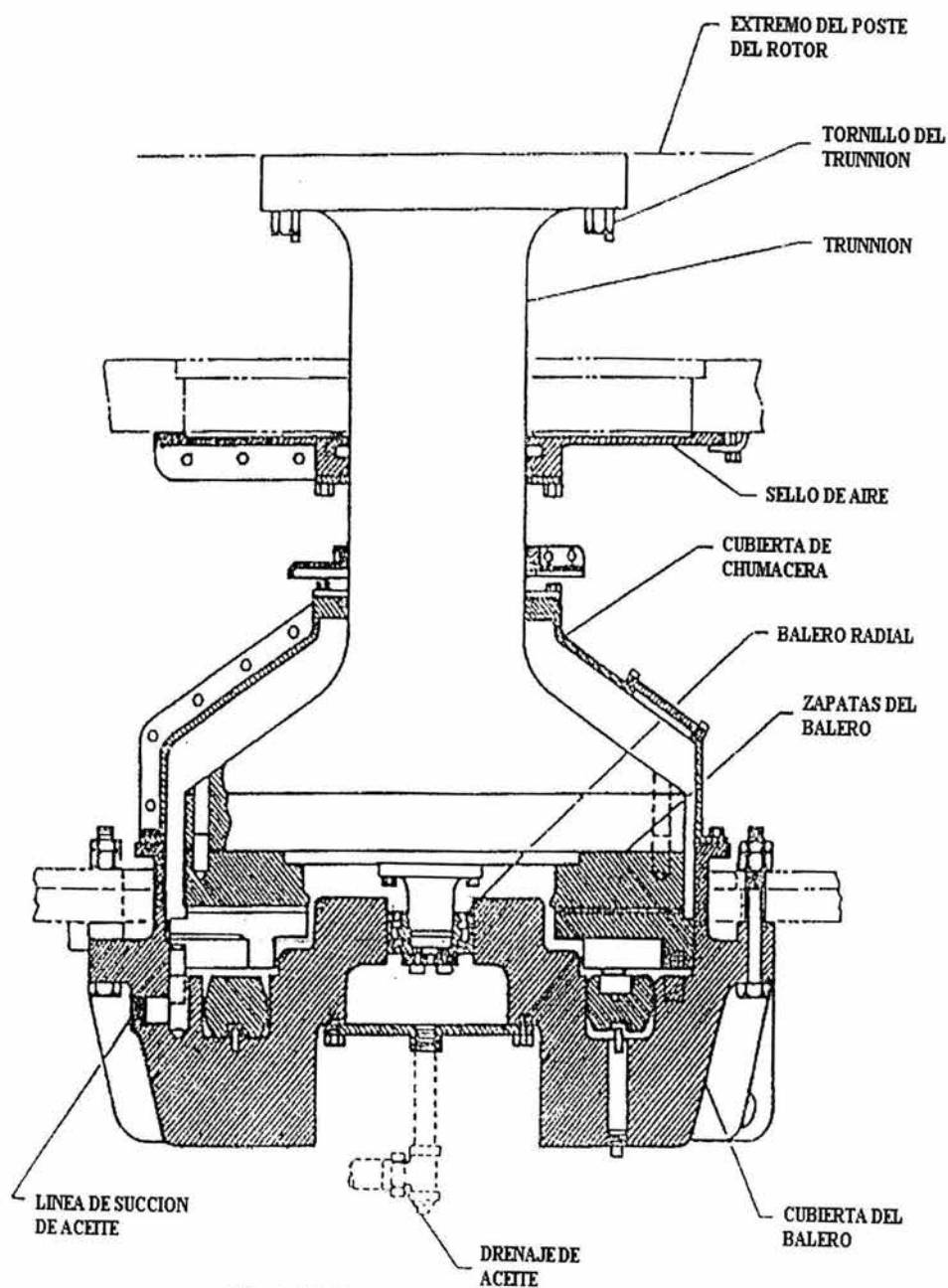


Fig. 2.18 Vista típica de chumacera de carga.

2.4.2 Chumaceras de rodillo autoalineable ó tipo Kingsbury de empuje.

Un soporte de muñón al que se le aplica carga en dirección radial se le conoce como chumacera, como puede verse en la figura 2.19, una chumacera consiste de dos partes principales, la flecha llamada muñón y el cilindro hueco que soporta a la flecha al que se le conoce como chumacera. En casi todas las aplicaciones, el muñón gira mientras que la chumacera esta fija. Sin embargo, hay casos en que el muñón está fijo y gira la chumacera y en algunos casos giran las chumaceras como los muñones.

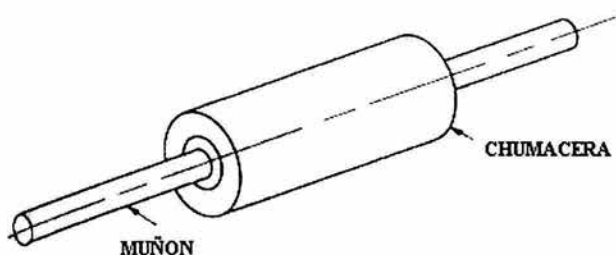


Fig. 2.19 Ejemplo de una chumacera.

La presión a lo largo de la chumacera tiene mucha variación. Como resultado de esto las chumaceras pueden construirse con espesor de película completo alrededor de la circunferencia del agujero (*chumacera completa*) o con espesor de película a lo largo de una parte de la circunferencia y una capa de aceite alrededor del resto (*chumacera parcial*). En la figura 2.20 se muestra una chumacera completa y en la figura 2.21 una chumacera parcial.

Una chumacera con cero claro radial es conocida como chumacera ajustada. Claro cero indica que el radial del muñón y el de la chumacera son iguales.

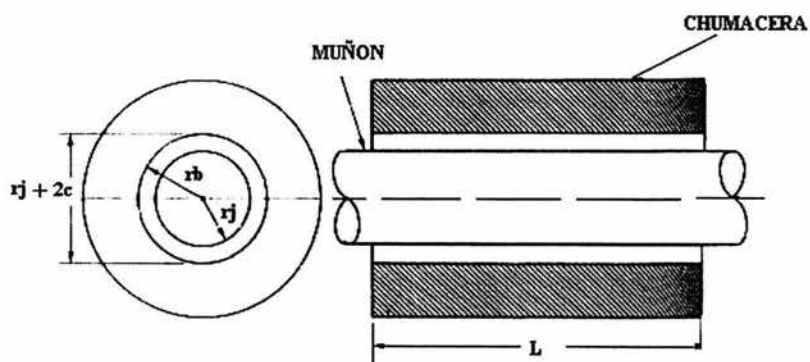


Fig. 2.20 Chumacera completa

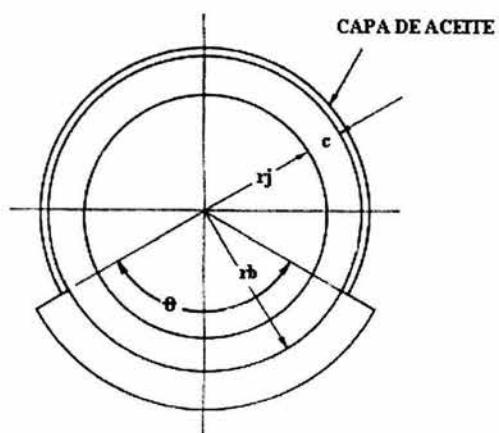


Fig. 2.21 Chumacera parcial.

Donde

$c =$ Claro radial $= r_b - r_j$

$r_j =$ Radio del muñón

$r_b =$ Radio de la chumacera

$L =$ Longitud de la chumacera

2.4.3 Chumacera de empuje

La chumacera de empuje mostrada en la figura 2.22, es del tipo de placas de nivelación, el cual distribuye automáticamente la carga igualmente entre las diversas zapatas. Estas zapatas se apoyan sobre las placas de nivelación (2) y (4), que están sostenidas en el anillo base (3), el cual está construido en mitades.

Las placas de nivelación. Por medio de su movimiento oscilante permiten a las zapatas tomar una determinada posición, de manera que el centro de carga de las superficies recubiertas de metal antifricción, estén todas en el mismo plano. Consecuentemente, cada zapata tomo igual cantidad de carga. Esta construcción elimina la necesidad de tener todas las zapatas exactamente del mismo espesor.

Para un desplazamiento acumulativo de las placas de nivelación, la carga de la zapata de empuje también se distribuye uniformemente, en caso de que el eje que soporta el collar, no este exactamente en paralelo con el diámetro de la cubierta. El empuje del rotor se transmite a las zapatas por medio de un collar de acero, el cual esta maquinado integralmente con el eje corto que está asegurado con pernos en el extremo del rotor del precalentador regenerativo.

En la figura 2.22 se muestra un cojinete de empuje en perspectiva.

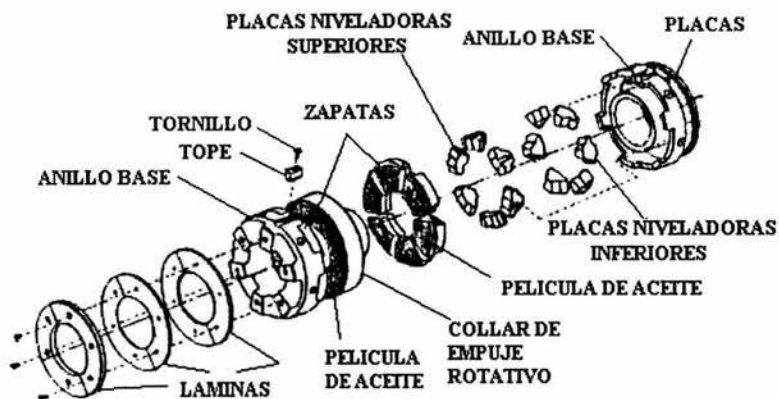


Fig. 2.22 Cojinete de empuje tipo Kingsbury.

2.4.4 Objetivos principales de la existencia de las chumaceras y baleros en la maquinaria son:

- Mantener el peso de la flecha o rotor.
- Limitar el movimiento axial del eje.
- Mantener el correcto espacio entre rotor y cubierta.

Se pueden clasificar en dos tipos:

1. Chumaceras planas (también llamadas cojinetes de deslizamiento, lisos o bujes).
2. Chumaceras de bolas (usualmente llamados baleros o rodamientos).

Las chumaceras planas se clasifican en tres tipos principales que son:

1. **De carga** – Que es el tipo que mas frecuentemente se encuentra en la maquinaria y es el que sostiene al eje rotatorio.
2. **De empuje** – Utilizado ya sea para soportar el eje en sentido vertical, o para limitar el movimiento axial (a lo largo del eje) de una flecha.

3. **Guía** – Se usa en donde el eje o flecha tiene movimiento deslizante hacia uno y otro lado a lo largo del eje.

Cualquiera de los tres tipos anteriores, cuentan con dos partes:

1. **Casco** – Pieza que soporta el peso de la flecha y a la cual está adherido el metal antifricción. El casco normalmente está fabricado de fierro fundido y puede ser de una sola pieza o dos (bipartido).
2. **Metal antifricción** – Se encuentra adherido al casco y su objetivo principal es absorber el desgaste que pudiera obtener la flecha, además de retener la película lubricante. Es una aleación compuesta de cobre, estaño y antimonio llamado metal Babbitt (en honor al que la patento Isaac Babbitt). Aunque también son muy utilizados los bronce.

2.4.5 Funcionamiento de los cojinetes de deslizamiento

Cuando el equipo no esta funcionando, la flecha o eje queda en el fondo de la chumacera, como se muestra en la figura 2.23a

Al ponerse a girar la flecha, está tiende a irse hacia un lado de la chumacera empezándose a formar una cuña de aceite en el punto donde hace contacto el eje con la chumacera, como se muestra en la figura 2 23b.

Por último al alcanzar la flecha su velocidad de operación y dependiendo de esta, tenderá el eje a centrarse dentro de la chumacera, a partir de este momento, el eje ya no hará contacto, debido a que estará girando sobre la película de aceite, por efecto de la presión hidráulica producida por la cuña de aceite, como se ilustra en la figura 2.23c.

Cuando la velocidad de rotación es muy alta, la presión formada por la cuña de aceite origina que la flecha tienda a desplazarse al sentido opuesto, tal como muestra la figura 2.23d.

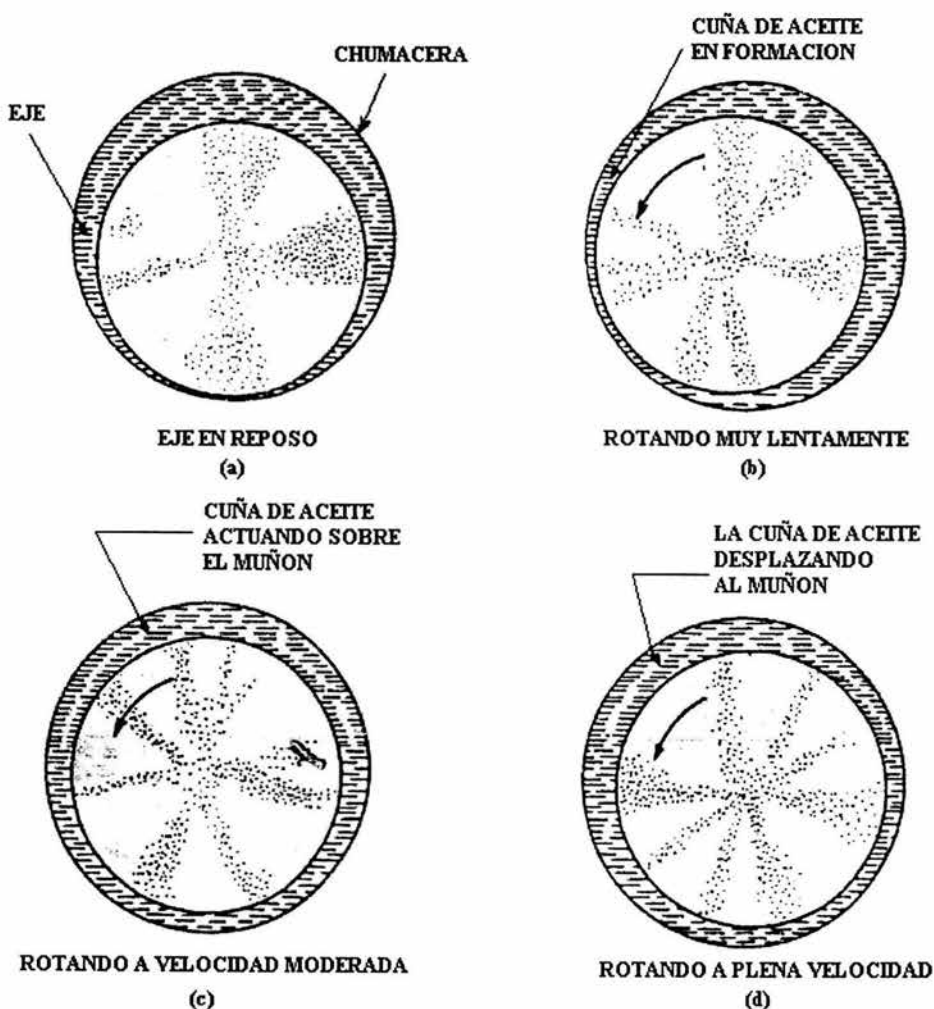


Fig. 2.23 Principio de formación de la película de aceite.

En las chumaceras planas (cojinetes de deslizamiento). Existen básicamente tres tipos principales:

1. Cojinete completo.
2. Bipartida (en dos mitades).
3. Con segmentos (compuesta por tres o mas segmentos que actúan como apoyos de la flecha); este tipo de chumacera se explica en la sección 2.4.3.

2.4.6 Principales puntos internos de las chumaceras planas.

No necesariamente deben tener todas estas partes, ello depende de la función que tengan, el tamaño, la carga que soporten y la velocidad de giro.

2.4.6.1 Venas o ranuras de lubricación.

Su propósito es retener y acarrear el aceite hacia la zona de carga, pero no deberán estar dentro de dicha zona de carga.

Todos los bordes de las venas de lubricación deberán quedar perfectamente redondeados. No en todos los cojinetes la carga es hacia abajo, los hay de carga hacia arriba, o a los lados como en el caso del jalón de una banda, el empuje de un engrane o la fuerza de un rodillo.

Existen muchas formas de venas de lubricación, pero siempre deberán estar sujetas a los siguientes factores:

- No deberán llegar a los extremos, para evitar la salida del lubricante.
- Nunca debe hacerse una vena en la zona donde soporta la carga esta área esta limitada a un segmento de 60°

2.4.6.2 Entrada de aceite.

Generalmente el aceite entra al centro de la chumacera y es repartido por una vena que tiene una longitud del 80% del largo de la chumacera (nunca deberá llegar hasta los extremos), ver figura 2.24.

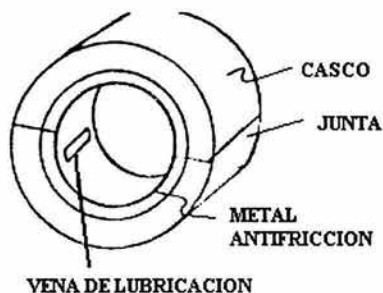


Fig. 2.24 Localización de la entrada de aceite mediante la vena de lubricación

2.4.6.3 Caja de aceite

El objetivo de estas cajas es producir un empuje de aceite hacia la flecha y siempre deberán estar localizadas en la parte superior de la chumacera, mostrada en la figura 2.25 ya que si estuvieran en la parte inferior, provocaría un efecto perjudicial que evitaría la formación de la cuña de aceite.

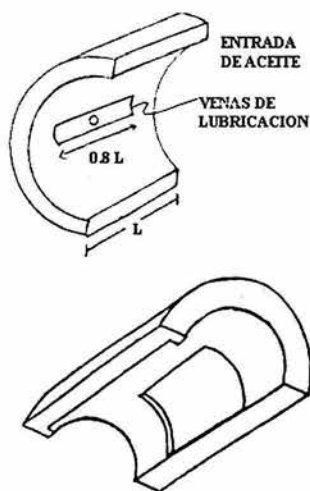


Fig. 2.25 Localización de la caja de aceite

Esta caja consiste en un rebaje en el metal antifricción tal como muestra la figura 2.26. Este rebaje, tiene generalmente una profundidad máxima de

1/32" (casi un milímetro) para ir gradualmente descendiendo hasta llegar a la entrada de aceite.

El ancho de estas cajas es al 50% del ancho total de la chumacera.

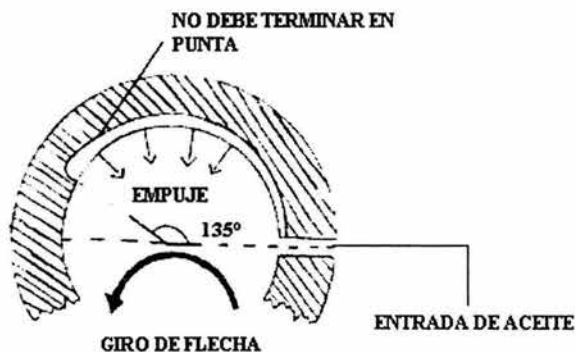


Fig. 2.26 Rebajado del metal antifricción.

2.4.6.4 Rebajado de las uniones

En chumaceras bipartidas, es aconsejable que se rebajen las uniones a un largo del 80% de la longitud total de la unión, esto es con el propósito de formar un depósito de aceite y para evitar que las esquinas de las uniones actúen como rasquetas, rompiendo la película de aceite. Este rebaje puede variar generalmente desde 0.010" (0.25 mm) a 0.050" (1.5 mm) o incluso mayores dependiendo del tamaño y tipo, este ejemplo se muestra en la figura 2.27.

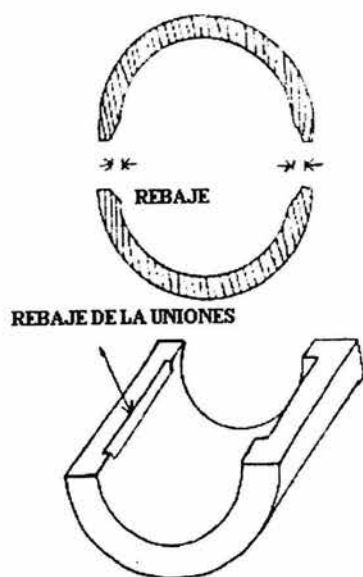


Fig. 2.27 Rebajado de uniones.

2.4.6.5 Anillo de lubricación.

Usado solo en chumaceras que tienen tipo de lubricación a baño de aceite. Este anillo se encuentra suspendido sobre la flecha y la parte inferior sumergida parcialmente en el aceite. Al girar la flecha mueve el anillo de lubricación que a su vez, arrastra el aceite hasta la parte superior de la flecha, como se puede ver en la siguiente figura (figura 2.28).

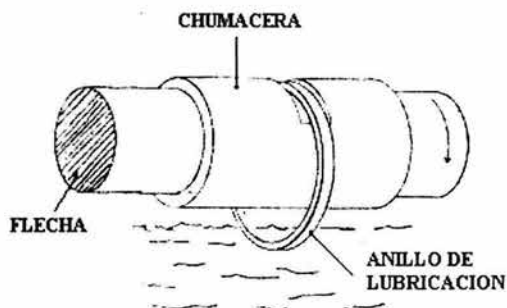


Fig. 2.28 Anillo de lubricación

2.4.7 Desmontaje de chumaceras.

Para evitar futuros problemas es conveniente que antes de quitar cualquier pieza, sea marcada su posición con respecto al sitio o a la pieza que acoplaba. En algunas ocasiones, estas piezas ya fueron marcadas por el fabricante o en alguna revisión anterior.

Al ir sacando las piezas, el mejor sistema es colocarlas en el mismo orden en que se van quitando y no limpiarlas hasta después de realizada su inspección, ya que se podría borrar alguna huella o evidencia importante.

Aflojar tornillos de la cubierta superior en cruz y alternadamente para evitar una posible deformación de la tapa. Una vez flojos, se quitarán a mano, para así poder sentir en que estado se encuentran las cuerdas, como se ilustra en la figura 2.29.

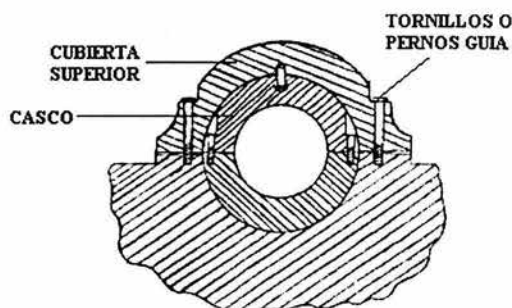


Fig. 2.29 Desmontaje de tornillería en chumaceras.

Posteriormente se quitarán los tornillos o pernos guía que son los que mantienen la alineación entre piezas.

Levantar la cubierta ayudándose de ligeros golpes empleando una madera o metal blando a lo largo de la junta, para despegar la unión.

Aflojar y retirar los tornillos del casco de la chumacera siguiendo el mismo procedimiento y levantar cuidadosamente la mitad superior procurando que no golpee contra partes duras, para evitar daños al metal antifricción.

Para quitar la mitad inferior, levantar la flecha para evitar que esta cargue sobre la chumacera, para esta operación puede colocarse debajo de la flecha un gato o un bloque y cuñas de madera, dependiendo del tamaño de la flecha, una vez levantado el eje si no ha despegado la chumacera de la flecha, golpear la junta de la chumacera con un metal blando (cobre, latón, aluminio) hacia abajo para posteriormente girar la chumacera alrededor del eje hasta que quede en la parte superior y levantarla.

2.4.7.1 Desmontaje de chumacera de empuje.

Para el desarmado de este tipo de chumaceras se necesita contar con espacio para retirar las zapatas, para ello se debe mover la flecha axialmente hacia un extremo y dependiendo del diseño, ya sea que se quiten los tornillos que sujetan cada zapata o bien si el disco de empuje es bipartido, abrirlo. Pero cualquiera que sea el tipo, antes de iniciar el desarmado si no existe manual del fabricante, se debe analizar durante unos minutos el procedimiento a seguir.

Inspección:

Limpiar los componentes y simultáneamente verificar mediante inspección ocular, la posible existencia de fracturas, golpes, deformaciones y picaduras. Para una inspección mas minuciosa se puede recurrir al método de inspección no destructivo por ultrasonido, para determinar el estado de el metal antifricción y el disco de empuje y los demás componentes que conforman a la chumacera de empuje, este método se describe en el anexo A3.

Especialmente en el metal antifricción, deberá inspeccionarse minuciosamente los siguientes puntos:

- A. **Decoloración** – Cualquier cambio en el color del metal antifricción es signo de problemas en la lubricación, que puede deberse a presencia de humedad, alta temperatura, descomposición del aceite, etc.

En muchas ocasiones, se forma una capa sobre el metal antifricción que va desde un color gris oscuro, a un negro brillante. Si esta capa o recubrimiento es delgada puede ser eliminada mediante rasqueteado (raspado).

- B. **Cavidades o agujeros en la superficie de rodamiento** – Por partículas (metálicas o arenosas) que se incrustan en el metal, dejando una cavidad con un borde realzado a su alrededor; esto puede observarse con un lente de aumento como se muestra en la figura 2.30.



Fig. 2.30 Incrustación de partículas metálicas o arenosas en el metal antifricción.

Los puntos altos, deberán ser eliminados mediante rasqueteado, ya que ocasionan que se interrumpa la película de aceite, además de reducir el claro o huelgo de trabajo. También se deberán desprender las partículas incrustadas.

Por corrosión, principalmente a contaminantes del lubricante (ácidos, agua, etc), generalmente cuando existe corrosión, la superficie de rodamiento pierde su coloración normal poniéndose opaca.

C. **Adherencia** – Es muy común que el metal antifricción, no este adherido al casco al 100% y una forma de detectarlo es poniendo un poco de aceite en la unión entre el casco y el Babbitt, en la zona en donde se requiera hacer la prueba, luego se ejercerá una fuerte presión con el dedo pulgar y se observarán las zonas que escupan aceite, que será donde el metal antifricción este despegado.

Si la longitud de metal despegado no rebasa el 20% de la extensión total de la unión entre metal antifricción y casco podrá trabajar satisfactoriamente siempre y cuando esta unión no tenga una separación mayor de 0.002” (dos milésimas de pulgada). Esta última medida puede efectuarse con un lainometro o calibrador de laines, introducirse entre el casco y el metal antifricción, como se muestra en la siguiente figura (Fig. 2.31)

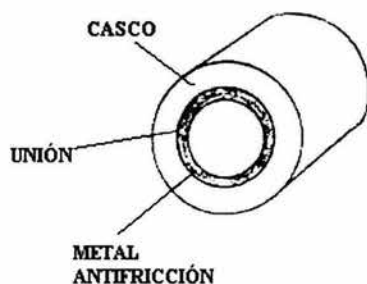


Fig. 2.31 Holgura entre el casco y el metal antifricción.

D. **Rayones** – Generalmente se encuentran en el metal antifricción y son producidos por partículas de polvo mezcladas con el lubricante o partículas metálicas.

Si estos rayones tienen una profundidad máxima de 0.002” (dos milésimas de pulgada), no presentarán problema y solo se eliminarán los puntos altos mediante rasqueteado. Un excesivo rayado, es indicativo de falta de lubricación o claro demasiado pequeño.

E. **Condiciones del lubricante** – Siempre que se desmonte una chumacera, es aconsejable revisar el estado del aceite independientemente de los cambios periódicos que deben efectuarse.

Para tener un diagnóstico preciso del aceite, es necesario mandarlo a analizar a un laboratorio especializado; pero a continuación se dan

algunas sencillas y prácticas formas para analizar el estado del lubricante:

- La muestra deberá tomarse de preferencia cuando aun este caliente el aceite.
- Deberá tomarse del depósito a la salida de la chumacera o antes de que pasen por el filtro.
- El recipiente, deberá estar limpio y transparente.
- Un aceite en condiciones de operación, deberá estar claro y con apariencia brillante y un olor dulce no repugnante; por el contrario un aceite que no esté en buenas condiciones de operación, estará opaco, turbio y con un olor penetrante a rancio o a quemado.
- Agitar un poco la muestra de aceite y a trasluz, observar si existen partículas metálicas que pueden provenir, ya sea del metal antifricción de la misma chumacera o del desgaste de otras partes de la maquinaria.

Pedazos de fieltro, hule o cuero, indican desgaste de empaquetaduras o sellos. Sin embargo si se desea una determinación mas precisa, deberá recurrirse a un laboratorio.

En conclusión siempre que se encuentren materias extrañas en el aceite, se deberá investigar la causa porque podrá ser un indicativo de una falla mayor.

2.4.8 Pruebas de contacto

La razón para la realización de esta prueba, es encontrar los puntos altos y conocer el grado de contacto o unión entre dos piezas, además de detectar si la flecha o eje esta desalineado con respecto a su chumacera.

Son tres las partes de la chumacera donde se realizan estas pruebas, (ver Fig. 2.32).

1. Junta horizontal
2. Unión entre casco y cubierta
3. Contacto en el metal antifricción.

Junta horizontal

Un buen contacto para asegurar una firme sujeción es arriba del 80% de su área, si no fuera así, se tendría que recurrir al método de rasquetado para eliminar las partes altas.

La prueba de contacto se realiza, untando en una de las partes una capa muy delgada de “azul de Prusia” u otro tinte, posteriormente se unen mediante sus propios tornillos y al separarlos, quedara marcado en la otra parte los puntos altos o zonas de contacto que son los que habrá de rebajar, para aumentar el área de contacto si es que esta es menor al 80% de la superficie.

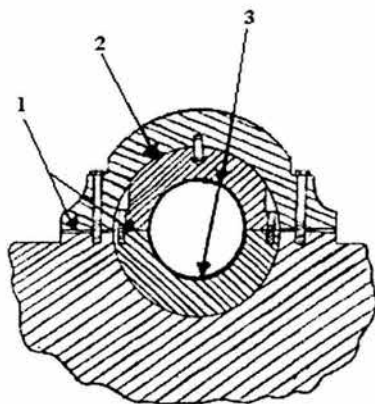


Fig. 2.32 Partes de la chumacera en donde se realizan las pruebas de contacto.

No es necesario que la huella sea continua, pueden ser varios los puntos de apoyo siempre y cuando la suma de ellos den el área requerida. Como ejemplo se muestra la figura 2.33.

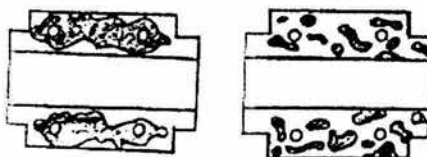


Fig. 2.33 Pruebas de contacto en chumaceras, mínimo el 80% de la superficie total.

Análisis de los puntos de contacto.

Existen tres tipos de marcas o áreas de apoyo.

- A. **Apoyo total** – Son marcas claras y que brillan por efecto del rozamiento con la superficie de contacto, no están manchadas de tinta ya que la fricción, arrastro el tinte de marcar, y son las partes que deberán rasquetearse primeramente pues son las áreas mas altas. Generalmente alrededor de estas áreas brillantes, aparecerán zonas marcadas con tinta.
- B. **Apoyo medio** – Son manchas coloreadas totalmente y deberán rasquetearse ligeramente.
- C. **Apoyo bajo** – Son manchas apenas definidas y que fueron provocadas por influencia indirecta o por un pequeño arrastre de tinte al momento de efectuar la prueba. Estos puntos no deben rasquetearse, ya que son las verdaderas zonas de contacto.

Prueba de contacto en el metal antifricción.

Cuando una chumacera ya ha trabajado, se puede apreciar el área de contacto que se identifica por el brillo que presenta en la zona de trabajo, pero

siempre será mas exacto si se le aplica “azul de Prusia”. La prueba de contacto se efectúa mediante el siguiente procedimiento:

Una vez quitadas las dos partes del casco, con algún solvente limpiar perfectamente la superficie, aplicar una pequeña cantidad de azul en la flecha, repartiéndola alrededor y a lo largo de la zona de trabajo.

Como se indicó anteriormente, con cuidado se introduce la chumacera inferior, dejando caer suavemente la flecha. Mover la flecha hacia uno y otro lado (como péndulo), no deberá darle toda la vuelta, ya que al girarla completamente embarraría demasiado tinte y daría un resultado incorrecto.

Y por último, sacar la chumacera y analizarla de la manera anteriormente indicada.

Para la parte superior de la chumacera se le aplica el tinte, se montará sobre la flecha y se dará movimiento de vaivén. El área de contacto correcta, será aproximadamente de $1/3$ de la superficie total de la chumacera. Estos tipos de contactos se muestran en la figura 2.34.



Fig. 2.34 Tipos de contacto en chumaceras.

Para dar el contacto correcto en el metal antifricción, se tomarán las siguientes precauciones.

- Cuando coloque la chumacera en su sitio para prueba de contacto, verifique que la orientación y posición sea la correcta.
- No aplique demasiado tinte, debiendo ser la capa delgada y lo mas parejo posible, para evitar análisis falsos.
- Cuando efectué el proceso de rasqueteado, quite el mínimo de material en cada ocasión, repitiendo la operación de entintado las veces que sean necesarias, para evitar que accidentalmente se retire demasiado material, pudiendo deformar la chumacera.

Cuando se trate de chumacera pequeñas o bujes, la prueba de contacto se efectuara así:

- Limpie perfectamente con cualquier solvente el eje y la chumacera.
- Úntele al eje una finísima capa de “azul”.
- Arme el conjunto y haga girar la flecha unas cuantas vueltas, ya sea a mano o arranque eléctrico instantáneo.
- Desarme y analice la chumacera.
- El contacto correcto, será cuando la chumacera aparezca pintada mas o menos uniforme en todo el interior.
- Contacto incorrecto, cuando solo aparecen unas cuantas zonas pintadas, que deberán ser rasqueteadas, ya que serán las partes altas.

2.4.9 Prueba de contacto en chumaceras de empuje planas.

Se sigue el mismo procedimiento descrito anteriormente que es:

- Aplicar tinte al collar de empuje o superficie plana y lisa.
- Mover la superficie plana en el sentido de giro del collar de empuje o flecha.
- Analizar las marcas que aparecerán en las zapatas.

Los puntos de inspección se muestran en la figura 2.35.

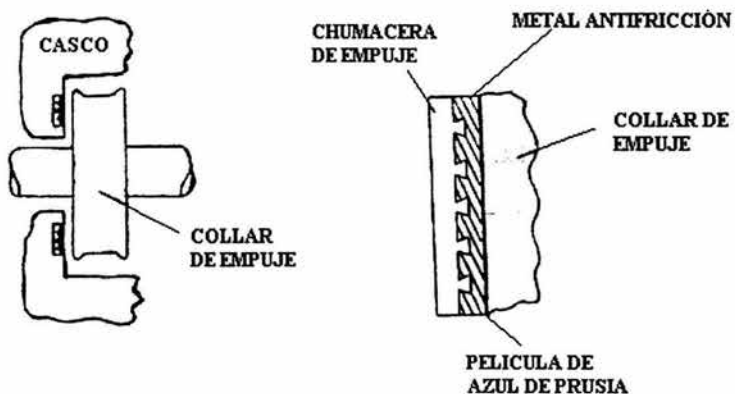


Fig. 2.35 Puntos de inspección en chumaceras.

El área de contacto deberá ser únicamente el 10% de la longitud del segmento y sólo en un extremo de la zapata, en el otro extremo (entrada del aceite) deberá tener una apertura de 3 a 7 milésimas de pulgada, dependiendo del tamaño de la chumacera. Lo anterior es con el propósito de permitir la entrada de lubricante y formar la cuña de aceite.

Una de las formas de medir la abertura de las entradas de aceite es colocando las zapatas sobre una superficie lisa y plana e introduciendo un calibrador de laines. Lo anteriormente descrito se ilustra en la figura 2.36.

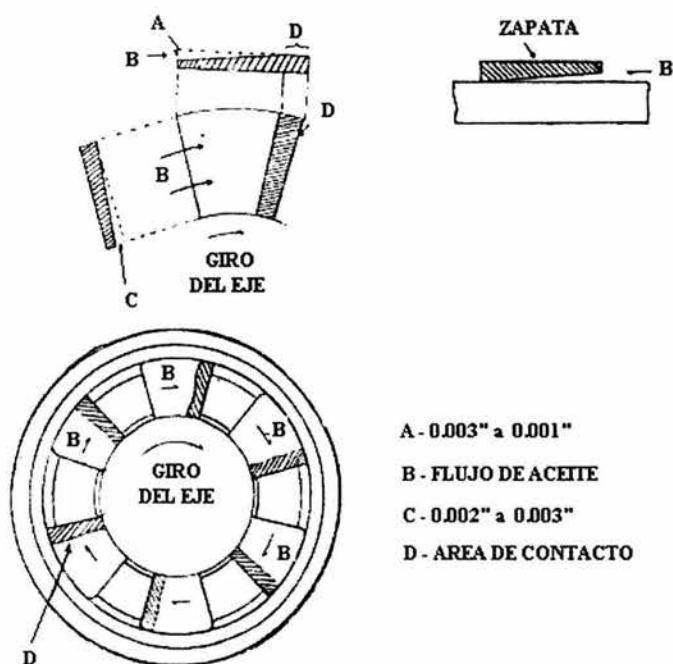


Fig. 2.36 Área de contacto de las zapatas.

2.4.10 Montaje

Antes de proceder al armado, se deberán tener todas las piezas limpias y disponibles. Esto es lo mas importante y se deberá tener presente, ya que simplemente el polvo que pueda entrar a las partes en movimiento o al lubricante, actúa como lija, desgastando rápidamente las partes. También si el polvo queda entre dos superficies de contacto como las juntas del casco o cubierta, ocasiona que no queden bien apretadas. Pudiéndose aflojar posteriormente.

En cualquier tipo de chumacera, sea de carga o de empuje los bordes deberán estar perfectamente redondeados.

A todas las partes que tengan movimiento entre si se les aplicará una parte de lubricante entre flecha y chumacera, con el objeto de proteger y prelubricar.

Antes de colocar la parte inferior de la chumacera, verificar que su alojamiento este libre de tierra y partes extrañas (trapo, tornillería, madera, etc.)

Al montar la chumacera comprobar que las dos mitades estén perfectamente alineadas entre si y en su posición correcta tomando como base las marcas índice que se le hicieron durante su desmontaje.

Al colocar los empaques, verificar el sitio correcto y que no obstruya algún conducto de lubricación.

Una vez montada la tapa de la chumacera, colocar los pernos guía golpeando con un martillo y apretar su tornillería alternadamente (en cruz) primeramente a mano y después paulatinamente ir apretando hasta terminar, pero siempre en cruz para evitar posible deformación y un mal contacto entre partes.

2.5 Motor neumático auxiliar

El motor neumático es un equipo opcional para el movimiento del precalentador. Este equipo nos asegura la continúa operación del precalentador aún cuando la fuerza para el motor eléctrico sea interrumpida.

El motor neumático puede también ser usado para controlar la velocidad del rotor durante el lavado con agua de la superficie de calefacción, dicho motor neumático va colocado en una extensión de flecha del reductor, tal como se muestra en la figura 2.37

Se suministrara un lubricador para el motor neumático el cual se debe instalar en la línea de aire. Como ***precaución***; el motor neumático nunca

deberá operarse sin lubricador ya que se le podrían ocasionar daños irreversibles.

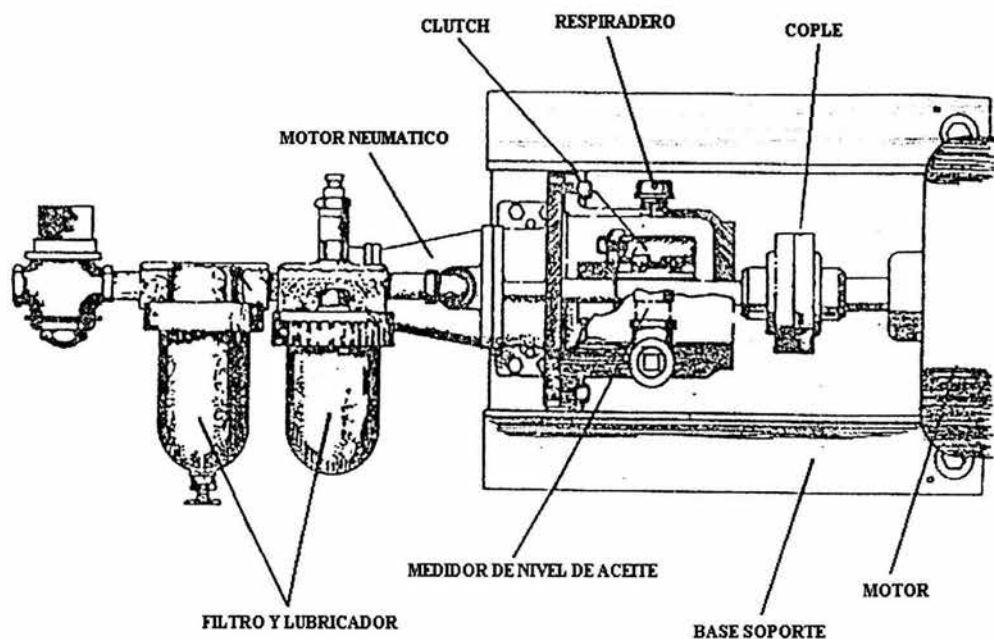


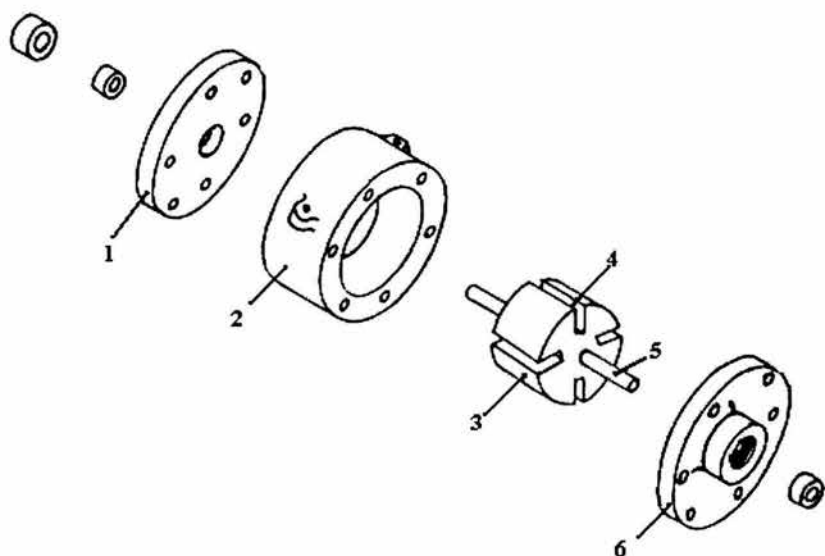
Fig. 2.37 Motor neumático auxiliar.

2.5.1 Principio de funcionamiento del motor neumático

Para generar movimiento de rotación en un sistema neumático, se usa un motor de este tipo. Se ha encontrado que los motores neumáticos dan lugar a una velocidad de rotación muy elevada, la cual a veces puede llegar hasta 10, 000 revoluciones por minuto o incluso más. La posibilidad de transmisión de alta potencia se realiza a velocidades infinitamente variables, lo cual construye una ventaja adicional que no se encuentra en otros sistemas rotacionales.

Los motores neumáticos, como se les conoce en forma popular, tienen diversos tipos de diseños, pero el más común es el del tipo de paletas. En los motores neumáticos de paletas, se coloca un bloque rotor en una carcasa, concéntrica a esta o, en algunos otros tipos, el interior de la carcasa tiene contorno elíptico sobre el que se coloca el rotor en forma concéntrica. El bloque rotor tiene varias ranuras finamente maquinadas, rectificadas y pulidas, como se ilustra en la figura 2.38, en el interior de las cuales se colocan unas pequeñas paletas, las que se pueden mover hacia adentro y hacia fuera de esas ranuras.

Cuando se alimenta aire comprimido, el rotor inicia su giro, produciendo en consecuencia un par motor (torque) sobre la flecha. Para operaciones a RPM elevadas de los sistemas mecánicos rotatorios, los motores neumáticos ofrecen un sistema en extremo seguro, debido a su capacidad de disipar el calor, en virtud de la expansión del aire en el interior de las cámaras de las paletas. Esta es una propiedad muy ventajosa del motor neumático sobre los motores eléctricos.



1. CUBIERTA DEL EXTREMO
2. CUERPO DEL MOTOR CON CONTORNO INTERNO ELIPTICO
3. BLOQUE ROTOR CON RANURAS PARA PALETAS
4. PALETAS
5. FLECHA DEL MOTOR
6. CUBIERTA DEL EXTREMO

Fig. 2.38 Partes principales de un motor neumático.

**3. Mantenimiento y/o rehabilitación a
componentes del precalentador de aire
regenerativo Ljünstrom tipo vertical.**

3 Mantenimiento y/o rehabilitación a componentes del precalentador de aire regenerativo Ljünstrom tipo vertical.

3.1 Soplador de hollín

Se suministra vapor o aire comprimido para alimentar las toberas múltiples del elemento soplador de hollín, el cual se controla por una leva que opera la válvula para que el soplado ocurra durante las fracciones de arco que se desee, y no golpee sobre las mampáras, o partes que puedan sufrir algún daño. Debido a que los gases están a mayor temperatura que el metal del precalentador y que los elementos sopladores se acercan a la temperatura de los gases, los elementos se ajustarán axialmente para que se descarguen entre los tubos. Los elementos sopladores se revisarán para ajustar correctamente los soportes y que giren libremente en condiciones normales de operación.

Si el vapor se usa para soplar, se tomará del domo de la caldera o de una fuente del sobrecalentador en que la temperatura no sea demasiado alta. La presión se reduce en válvula reductora antes de alimentar al cabezal de los sopladores. Los orificios para cada cabezal de los sopladores, reducen la presión a un valor deseado generalmente de 100 a 200 lb de presión. La presión de cada soplador debe ajustarse para su más económica y efectiva presión de operación. Debe cuidarse el calor contenido en el vapor, pues este debe ser seco. A 800 PSI el vapor reducido a 200 PSI. El cabezal de alimentación a los sopladores debe ser bien drenado y correctamente instalado para una amplia flexibilidad en la operación que no produzca esfuerzos al calentarse y enfriarse.

Los precalentadores regenerativos requieren sopladors periódicos para eliminar el hollín y conservar los pequeños pasajes limpios.

El taponamiento de los pasajes originan una resistencia al flujo de gas y al flujo de aire causando severas pulsaciones en el horno. Es conveniente el uso de sopladors movidos manual o mecánicamente hacia fuera y hacia adentro cuantas veces sea necesario para cubrir toda la superficie del precalentador. El soplado se hace en la misma dirección del flujo de aire o gas usualmente en el lado del aire, debido a que los depósitos son mas pesados en la parte mas fría del precalentador.

El vapor y aire que se usa para soplar, deberá estar completamente seco. En algunos casos se usa agua caliente para lavar los elementos del precalentador, esto es poco efectivo para aflojar los depósitos de azufre que se forman al usar aceite combustible o carbón de mala calidad.

Exceptuando las unidades pequeñas tipo paquete, en todos los precalentadores Ljünstrom, se usa un soplador de una sola boquilla, operada por un motor eléctrico.

Se tiene en brazo con la boquilla del soplador que tiene un movimiento oscilatorio lento, que hace un barrido del centro del rotor hacia la periferia.

El movimiento oscilatorio esta fijado para que el chorro del vapor sople todos los elementos que están girando en el rotor a velocidad normal.

El tiempo de soplado en unidades pequeñas puede ser de 10 minutos, mientras que en unidades de gran capacidad, puede ser de 30 o 45 minutos.

La boquilla es de forma elíptica convergente – divergente con un área en la garganta equivalente a la de un círculo de ½” de diámetro.

La revisión que se efectúa a los dispositivos de limpieza es la siguiente:

- Verificar la posición de la tobera.
- Verificar el movimiento oscilatorio
- Revisar sello giratorio de la rótula.
- Revisar reductor y mecanismo.

En la figura 3.1 se ilustra una unidad motriz típica del dispositivo limpiador (soplador de hollín).

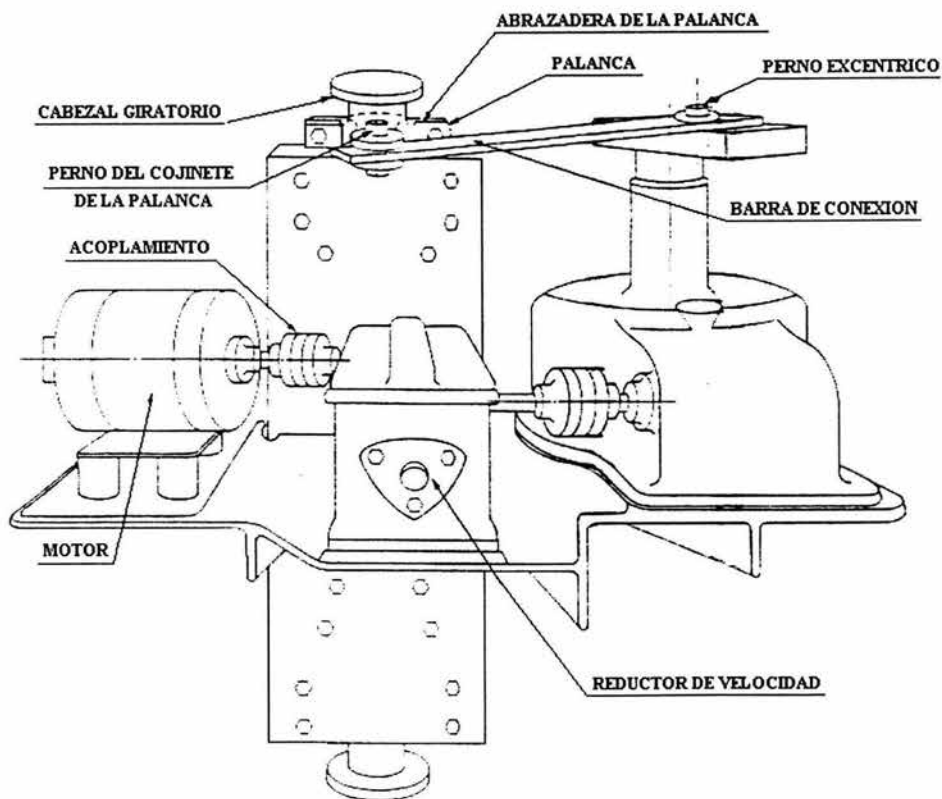


Fig. 3.1 Unidad motriz del dispositivo limpiador (soplador de hollín).

La frecuencia de limpieza deberá ser determinada por el rango de depósitos acumulados en los elementos de calefacción.

La presión recomendada para la operación inicial es de 200 PSIG para vapor y 180 PSIG para aire comprimido, con la válvula de entrada totalmente abierta, si la presión es baja, no se obtendrá una limpieza efectiva.

La presión del vapor no deberá exceder 250 PSIG y la presión del aire no deberá tampoco exceder de 200PSIG. Una excesiva presión por un largo periodo de aplicación puede dañar los sellos del rotor y/o elementos de canastas.

La placa de orificio suministrada en la línea deberá ser ajustada a la presión recomendada incrementando el diámetro del orificio. Estos incrementos deberán ser de 1/16" y hasta obtener la presión deseada en la tobera del soplador.

3.2 Mantenimiento y lubricación

3.2.1 Rodamientos de la lanza.

Suministrar grasa suficiente una vez al mes a través de la grasera localizada al lado de los rodamientos, debe tenerse cuidado especial para esta lubricación, pues los rodamientos están localizados en zonas de gran temperatura, y la grasa puesta en ellos se seca con gran facilidad.

3.2.2 Caja de engranes.

Revisar que no haya fugas de lubricante por los empaques, además verificar el nivel de aceite una vez cada seis meses. La cantidad de aceite lubricante es de 0.2 litros. Cambiar el aceite una vez al año. La lubricación

puede hacerse a través de un orificio que hay en la parte superior de la caja de engranes.

3.2.3 Carro de transportación

Verificar que no haya fugas de aceite por los empaques y reapretar los tornillos al tercero o quinto día, después de arrancado por primera vez. Verificar el nivel de aceite una vez cada seis meses y cambiarlo una vez al año. En la figura 3.2 se puede apreciar el esquema del carro de transportación.

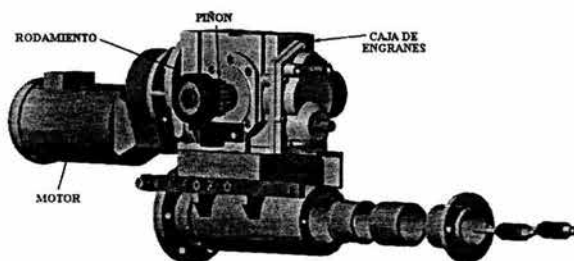


Fig. 3.2 Vista del carro viajero donde se muestra los diferentes componentes del mismo, piñones, caja de engranes, motor.

3.2.4 Limitador de torsión

El limitador de torsión está ubicado en el eje sin fin, para prevenir que la cadena de la lanza se rompa cuando ésta se obstruye por alguna causa.

3.2.5 Posicionador de la válvula

Una leva y rodamientos son usados para la apertura y cierre de la válvula. Aplicar grasa a los baleros una vez al mes a través de la grasera para prevenir oxidación. En la figura 3.3 se muestra la vista en corte del la válvula de admisión de vapor del soplador de hollín.

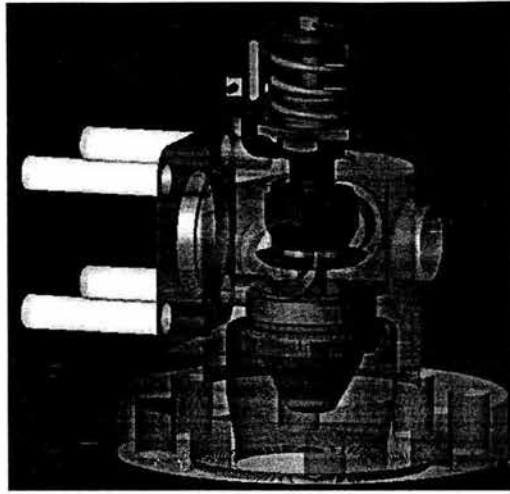


Fig. 3.3 Vista en corte de la válvula de admisión de vapor del soplador de hollín.

3.2.6 Empaques

Verificar que no haya fugas (de aceite, vapor o aire) en los empaques. Reapretar los sellos de los empaques si existe alguna fuga y reemplazar el empaque con uno nuevo cuando la fuga sea excesiva.

3.2.7 Montaje

Verificar frecuentemente que el cuerpo del soplador de hollín este en buena condición de montaje siempre. Debe hacerse notar que la operación continua con un soplador de hollín con montaje imperfecto causará una desviación del ángulo y dirección de precisión.

3.2.8 Extracción del tubo del soplador de hollín.

El tubo lanza puede ser extraído del cuerpo del soplador de hollín tal y como este fue montado. Para hacer esto es recomendable seguir los siguientes pasos:

- Los sellos de empaque se remueven del carro de transporte.
- Remover el tubo de alimentación de su placa de soporte.
- El tubo lanza suspendido de la carcasa por un cable y entonces el tubo lanza pueda ser removido del carro de transporte.
- El tubo de alimentación es empujado dentro del tubo de la lanza para facilitar la extracción desde el carro de transporte.
- Algunas barras de soporte de las que están en el fondo de la carcasa son quitadas desde el lado de la válvula de cabezal.
- El tubo lanza se coloca fuera de los baleros, manteniendo el extremo del tubo ligeramente bajo y posteriormente el tubo lanza se desliza fuera de la carcasa.
- Cuando se repone la lanza, los pasos anteriores deben ser tomados en sentido inverso.

3.3 Canastas

Cuando los elementos de calefacción del precalentador de aire llegan a la temperatura de rocío de los productos de la combustión puede ocurrir corrosión. La humedad formada a esta temperatura es por si corrosiva y las sustancias que adquiere de los productos de la combustión pueden acelerar en gran parte la velocidad de corrosión. La temperatura en la que se forma el rocío de los productos de la combustión cambia con cada combustible y con su contenido de azufre también con la cantidad de humedad presente. Si el precalentador de aire ha de estar libre de corrosión, hay que mantener cada parte de el a una temperatura de rocío que puede encontrar.

Los elementos de calefacción del lado caliente del Ljünstrom se hacen por lo común de chapa de acero y los del lado frío se hacen de material de aleación que resiste la corrosión.

Se provee cada Ljünstrom con una puerta de inspección y una luz que permite la observación de las superficies de calefacción mientras funciona el precalentador. Si la superficie se ha adelgazado mucho en un canto, se puede invertir. Se puede determinar con inspecciones anuales, cuando es necesario el reemplazo de esta superficie.

El diseño del Ljünstrom es tal que permite un cambio rápido de los elementos del lado frío. En el caso de unidades horizontales, los elementos de cada sector tienen un arreglo sencillo, conocido como “sector de canasta”. Hay doce sectores en cada rotor y en unidades muy grandes se tienen hasta 24 sectores.

La parte exterior de un sector de canastas está hecha de placas curvadas en forma de una brida con agujeros para pernos, estos agujeros deben ajustarse con los pernos de la cubierta exterior del rotor, se debe usar como sello un empaque ó un compuesto sellante, se usan tuercas con arandelas para fijar las canastas en su lugar en el rotor.

Es muy importante usar una grasa lubricante con cualidades contra el agarrotamiento y resistencia térmica y que sea anticorrosivo (anti – seizing) en las cuerdas de los pernos, este lubricante facilitará la remoción de las tuercas después de largos periodos de operación. Sin este lubricante se puede tener problema al tratar de aflojar las tuercas debido a que el calor y/o la corrosión

durante la operación pueden haber afectado el material de las tuercas y de los pernos ocasionando su ruptura.

En este caso se perderá mucho tiempo tratando de reemplazar dichas tuercas y pernos, se recomienda disponer de un monorriel o de un marco “A”, arriba de la unidad con un malacate que permita el rápido movimiento de las canastas.

Una buena planeación de este trabajo puede permitir que un juego de canastas se pueda cambiar en un turno de 8 horas y en algunos casos de menor tiempo.

Las unidades verticales usualmente tienen dos o más tipos de canastas en cada sector. La canasta más grande tiene un peso que puede ser manejado fácilmente por dos hombres. Se dispone en estas unidades de cubiertas atornilladas a la cubierta del rotor, para un fácil acceso a cada sector. No es necesario entrar a los ductos o de que el generador de vapor este frío para efectuar el cambio de canastas.

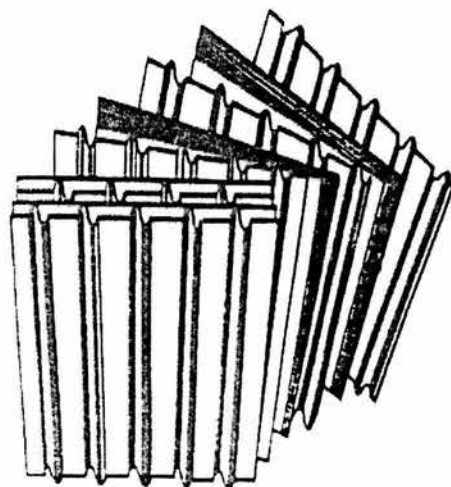
Los puntos de inspección para las canastas de los precalentadores regenerativos son los siguientes:

- Revisar ataque de corrosión a canastas al término de enfriamiento del generador de vapor.
- Revisar toberas del lavado de canastas.
- Revisar grado de ensuciamiento de las canastas.
- Registro de corrosión a los elementos de calefacción.
- Revisar y en caso de ser necesario puntar la uñas de las canastas.

En la figura 3.4a y 3.4b se ilustran los elementos transmisores de calor y la sección del rotor mostrando la disposición de los elementos calefactores.



ELEMENTO CALEFACTOR CON ONDULADO DOBLE
(SE INSTALA EN EL LADO CALIENTE Y EN LA PARTE INTERMEDIA)



ELEMENTO CALEFACTOR RANURADO
(SE INSTALA EN EL LADO FRIO DEL CALENTADOR DE AIRE)

Fig. 3.4a Elementos transmisores de calor

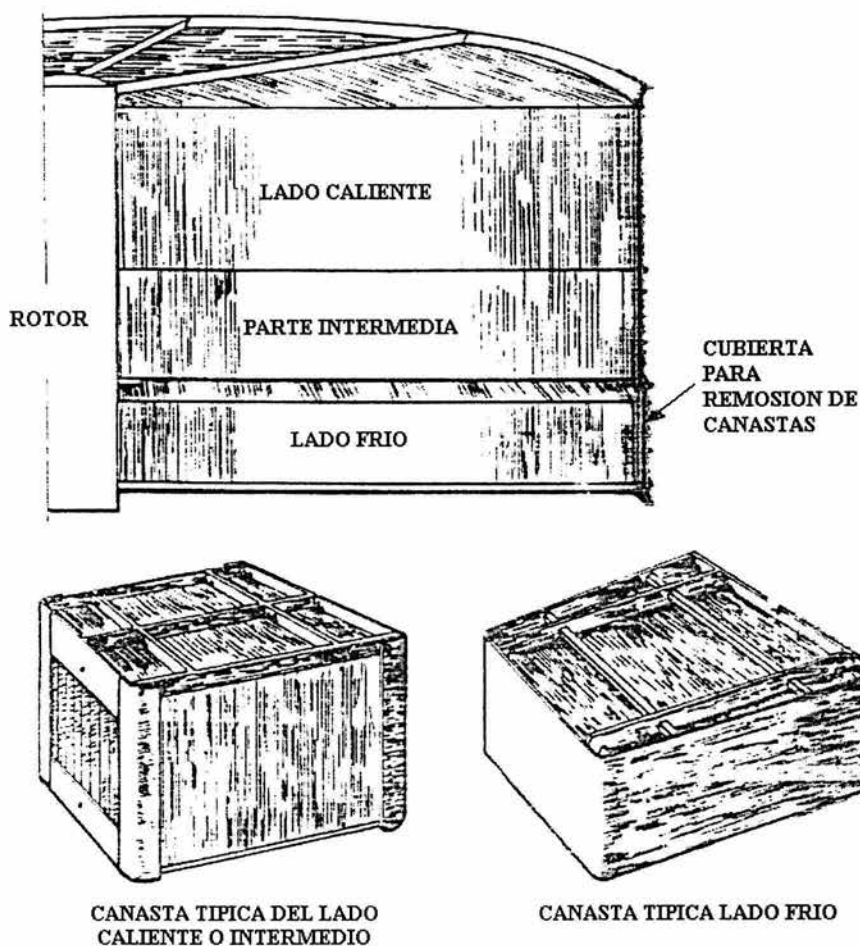


Fig. 3.4b Sección del rotor mostrando la disposición de los elementos calefactores.

3.3.1 Recomendaciones para almacenamiento

Las canastas están diseñadas para que, de acuerdo a condiciones de operación, no se tengan problemas críticos de corrosión; sin embargo, deben considerarse algunas previsiones para su almacenamiento, ya que de lo

contrario se podrían tener deterioros por la acción del medio y/o condiciones atmosféricas (lluvias).

El almacenamiento de estas piezas debe ser efectuado de acuerdo al siguiente criterio:

- Preferentemente almacenar bajo techo.
- De no ser posible al punto anterior, colocar sobre plataformas de madera con altura de 1 pie, lona en base y cubriendo canastas.
- Proteger las canastas mediante la aplicación de aceite.

En términos generales, se puede aplicar un aceite ligero, de fácil remoción, asegurando su eliminación antes de montar las canastas para operación,, mediante la aplicación de un lavado con agua a presión de 50 a 75 Lb/pulg². Debe ser necesario agregar solventes al agua para la remoción del aceite, además enjuagar bien.

3.3.2 Retiro e instalación de canastas (frías, calientes e intermedias)

- El desmontaje de estas deberá efectuarse de manera alterna, para evitar el desbalanceo del rotor y concentración de cargas en un solo punto.
- Lavado de canastas con desengrasante marca CESCO 2000 y/o equivalente, así como el sopleteo con vapor en la zona indicada.
- Efectuar el desacuñado de las canastas sin dañar el envolvente y diafragmas.
- Acarreo de canastas al piso cero.
- Efectuar maniobras de levaje del piso cero, del generador de vapor, al piso en donde se encuentra ubicado el precalentador regenerativo.

- Montaje de canastas, el alcance de este trabajo deberá efectuarse en forma alterna para evitar desbalanceo del rotor y concentración de cargas en un solo punto, así como la distribución de las mismas con los pesos aproximados para evitar pesos excesivos en el rotor para que no exista desbalanceo.

3.4 Retiro e instalación de sellos.

El diseño de un precalentador Ljünstrom es tal que permite el rápido cambio de los sellos del rotor con el mínimo de esfuerzos, normalmente los sellos radiales tienen poca duración en los casos en que se tiene corrosión debido al alto contenido de azufre en el combustible, mientras que los sellos circunferenciales pueden durar 2 o 3 veces más que los sellos radiales, los sellos axiales deben durar, igualmente más tiempo.

Los sellos de rotor están fijados por una serie de pernos, los sellos radiales y axiales tienen taladrados unas ranuras, lo que permite cualquier ajuste. Los sellos circunferenciales pueden requerir un ajuste mediante un curvado de las hojas o mediante el uso de lanas.

Los puntos de inspección a los sellos de aire de los precalentadores regenerativos son los siguientes:

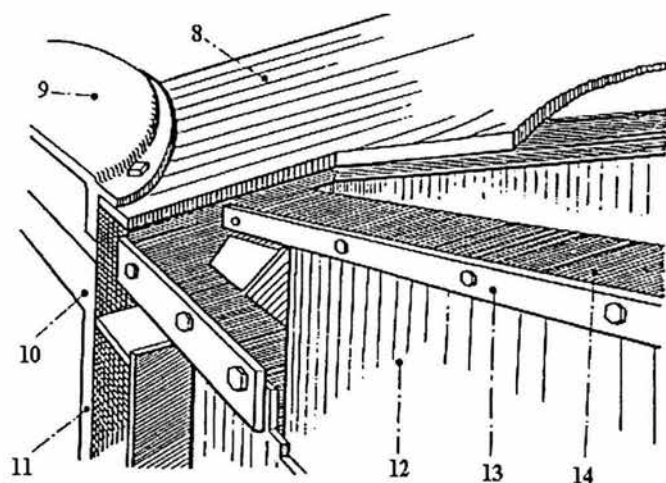
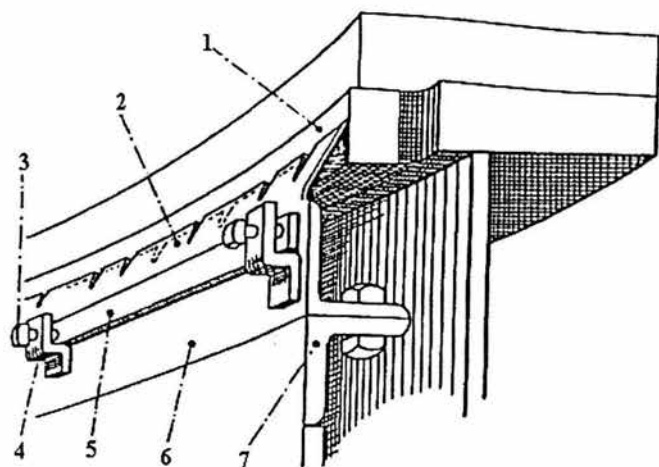
- Revisar que se encuentren completos los juegos de sellos montados.
- Revisar rozamiento entre los sellos y sus espejos.
- Registrar corrosión de los sellos.
- Registro de tolerancias.

Los sellos son fabricados de acero con bajo contenido de carbón y en calibres adecuados para su correcta operación.

Los sellos radiales son colocados en los diafragmas y se calibran de acuerdo a los datos proporcionados por el fabricante.

Los sellos circunferenciales son colocados en la periferia del rotor y se calibran también con los claros necesarios para su óptimo funcionamiento.

Los sellos de poste son soldados al poste del rotor, para poder ver la colocación de los sellos del rotor, se incluye un dibujo ilustrativo en la figura 3.5.



- | | |
|---------------------------------------|--|
| 1. SELLO CIRCUNFERENCIAL TIPO ANILLO. | 8. BASE DEL SECTOR. |
| 2. SELLO CIRCUNFERENCIAL. | 9. TAPA DEL POSTE DEL SELLO DEL ROTOR. |
| 3. TORNILLOS DE SEGURIDAD. | 10. SELLO DEL POSTE DEL ROTOR. |
| 4. SELLO SOPORTE CLIP. | 11. POSTE DEL ROTOR. |
| 5. SOPORTE SELLO CIRCUNFERENCIAL. | 12. DIAFRAGMA DEL ROTOR. |
| 6. ANGULO DE SOPORTE CIRCUNFERENCIAL. | 13. SOPORTE DEL SELLO RADIAL. |
| 7. BASE DEL SECTOR. | 14. SELLO RADIAL. |

Fig. 3.5 Ensamble de los sellos del rotor.

3.5 Recomendaciones para la limpieza del precalentador regenerativo.

El lavado del precalentador de aire Ljünstrom es un punto de vital importancia, debe ser efectuado sólo cuando es necesario; en las unidades que están trabajando con combustóleo, considerando que el combustóleo nacional tiene un alto contenido de azufre, se espera la formación de SO_3 (óxido de azufre) en los productos de combustión, el cual se transforma en H_2SO_4 (ácido sulfúrico) en el proceso de condensación lo que puede traer como consecuencia la corrosión de los elementos de transferencia de calor, sellos, etc.

Para minimizar el ataque corrosivo es importante mantener el equipo (Ljünstrom) bajo buenas condiciones de limpieza, para lo cual se suministra el soplador de hollín y los cabezales de lavado estacionario, se sugiere que estos equipos deban ser utilizados bajo las condiciones siguientes:

3.5.1 Soplador de hollín

En la operación normal del equipo, se debe utilizar el soplador de hollín para la limpieza del mismo a una presión mínima de 200PSI preferentemente con vapor sobrecalentado. Dicho soplador se utiliza bajo las siguientes circunstancias:

- Cuando hay acumulación de combustible no quemado en los elementos de transferencia de calor, durante el proceso de arranque de la unidad con combustóleo
- Cuando la caída de presión del lado aire y/o lado del gas del precalentador se incrementa a un 50% o más del valor nominal para la

carga en operación, es decir, 1.5 veces la caída de presión normal, lo cual equivale aproximadamente a soplar cada 8 horas, este tiempo puede variarse de acuerdo a observación del funcionamiento del precalentador.

Con la utilización adecuada del soplador de hollín, principalmente en operación normal de la unidad, se asegura que se alarguen al máximo el número de lavados del precalentador, además se debe asegurar que la lanza cubra toda el área de elementos y además que no se introduzca condensado de vapor de agua al precalentador.

3.5.2 Lavado del precalentador.

El tiempo entre necesidades de lavado del precalentador, es variable y depende mucho de las condiciones de operación tales como efectividad de soplado, frecuencia de soplado, número de paros y arranques, etc. Sin embargo, es recomendable que se efectúe cuando se presentan las siguientes condiciones:

- Cuando el soplado ya no es efectivo, es decir, cuando después de soplar se observa que la caída de presión del precalentador no disminuye significativamente con respecto a la que se tenía antes de efectuar dicho soplado. De aquí la importancia de monitorear las caídas de presión.
- Cuando la temperatura de los gases saliendo del precalentador tiende a incrementarse, lo que indica que no se está efectuando el intercambio de calor adecuado por ensuciamiento; es por este motivo, entre otros, que se recomienda el monitoreo de las temperaturas.

- Cuando el ventilador de tiro forzado no puede abastecer el flujo de aire adecuado de acuerdo al requerimiento de la unidad, en este punto se debe observar también el desgaste que tengan los sellos, ya que, con sellos desgastados y/o descalibrados, también puede faltar aire para la combustión por alto nivel de fugas.

Se recomienda que la unidad este fuera de servicio para efectuar el lavado, ya que de lo contrario, se tendrían problemas de combustión y la muy probable corrosión de los ductos.

Para efectuar el lavado del precalentador, se debe poner especial atención en los siguientes puntos:

- Asegurar que el suministro de agua sea el adecuado, se recomiendan 75PSI para el lavado y se tienen las siguientes alternativas.
 - a) Agua a temperatura normal
 - b) Agua con temperatura de 60 a 80°C (para facilitar la remoción de hollín)
 - c) Inyección de soluciones alcalinas, la inyección de soluciones alcalinas acelera la limpieza de las canastas, sin embargo, se debe tener la precaución de enjuagar bien después del lavado, ya que de lo contrario, lejos de beneficiar en el lavado, perjudicaría la vida útil de las canastas.
- Asegurar que se tenga un drenado adecuado del agua de desecho, ya que las cantidades son grandes.
- Es recomendable que se enfríe el precalentador antes de lavarlo hasta que la temperatura entrando al lado de gases sea de 100°C o menos.

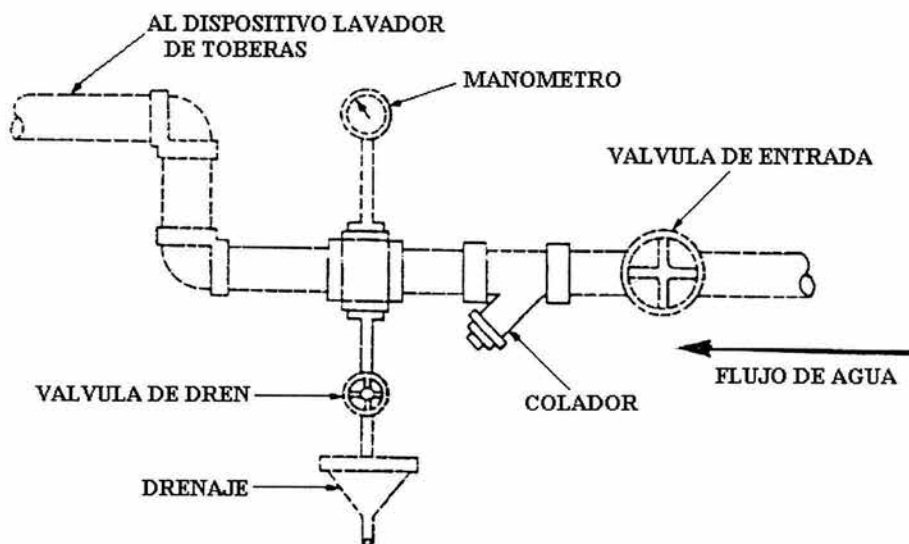
- Cerrar las puertas adyacentes al precalentador, a excepción de la localización en la salida de gases del precalentador para que por esta sea extraído el vapor generado durante el lavado.
 - Mantener encendida la lámpara de la mirilla de observación con el objeto de estar dando seguimiento al lavado del precalentador.
 - Antes de efectuar el lavado, inspeccionar para verificar si se tiene taponamiento uniforme o en que áreas se presenta, deberá registrarse el tipo de taponamiento para poder determinar si es anormal.
 - Verificar la operación del motor neumático (auxiliar).
 - De ser posible, proteger las compuertas para evitar salpicaduras; principalmente si se están utilizando soluciones alcalinas.
 - Para efectuar el lavado, mantener una velocidad aproximada de 0.3 RPM mediante el motor neumático.
 - Proceder a efectuar el lavado del precalentador.
- a) El tiempo de duración del lavado del precalentador varía para cada caso dependiendo del tamaño y tipo, así como la operación del mismo; sin embargo, podemos en términos generales, esperar una efectiva limpieza en un intervalo de 3 a 5 horas.
- b) Cuando son utilizadas las soluciones alcalinas, se deberá enjuagar perfectamente, buscando que el PH del agua a la salida sea neutro, aceptando como máximo el que comparando el PH del agua de servicio contra el agua saliendo del enjuague se tenga una diferencia menor o igual a 1 es decir:

$$\text{PH (agua de servicio)} - \text{PH (agua de desecho)} \leq 1$$

c) Es importante, después de lavar el precalentador, proceder a secarlo, lo cual se debe hacer de acuerdo a lo siguiente:

1. Abrir todas las compuertas.
2. Arrancar el ventilador de tiro forzado llevándolo al 30% de su capacidad.
3. Verificar que esté seca toda la superficie de transferencia de calor.
4. Si se desea secar mas rápido, encender quemador de gas.

En la figura 3.6 se muestra el arreglo sugerido para las tuberías del dispositivo de lavado.



NOTA:
LA TUBERIA DE ENTRADA DEBERA ESTAR A UN NIVEL MAS BAJO QUE EL DISPOSITIVO DE LAVADO.

Fig. 3.6 Arreglo sugerido de tuberías para el dispositivo de lavado.

- d) Una forma de saber si el lavado es efectivo, consiste en colocar una lámpara iluminando directamente hacia las canastas, si se puede ver esta luz por el extremo opuesto, se considera un buen lavado, si es posible ver la luz, continuar lavando.
- e) Se deberá comparar la caída de presión lado aire y gas del precalentador antes y después del lavado.
- f) Las combinaciones que pueden ser utilizadas para el lavado alcalino del precalentador pueden ser las siguientes.

<i>Fosfato de Sodio</i>	<i>5 Lb/1,000 Lb de agua</i>
<i>Sosa Cáustica</i>	<i>½ Lb/1000 Lb de agua</i>
<i>Hidróxido de Sodio</i>	<i>2 Lb/1000 Lb de agua</i>
<i>Carbonato de Sodio ó</i>	
<i>Fosfato de Sodio</i>	<i>2 Lb/1000 Lb de agua</i>
<i>Carbonato de Sodio</i>	<i>2 Lb/1000 Lb de agua</i>
<i>Fosfato de Sodio</i>	<i>4 Lb/1000 Lb de agua</i>
<i>Sosa Cáustica</i>	<i>2 Lb/1000 Lb de agua</i>

Nota: Agregar un detergente en una relación de 0.5 a 0.1% por volumen.

3.6 Revisión y mantenimiento al sistema de lubricación.

Esta revisión y mantenimiento consiste en determinar el estado de los rodamientos de la bomba de lubricación y en caso necesario hacer el ajuste o cambio pertinente, además también hacer el cambio del sello mecánico de la bomba de lubricación. También se recomienda hacer la limpieza de la tubería de este sistema mediante la aplicación de algún solvente con ayuda de una

bomba de desplazamiento positivo para remover incrustaciones de aceite que se pudieran tener dentro de dicha tubería.

En la figura 3.7 se ilustra el arreglo para el sistema de lubricación.

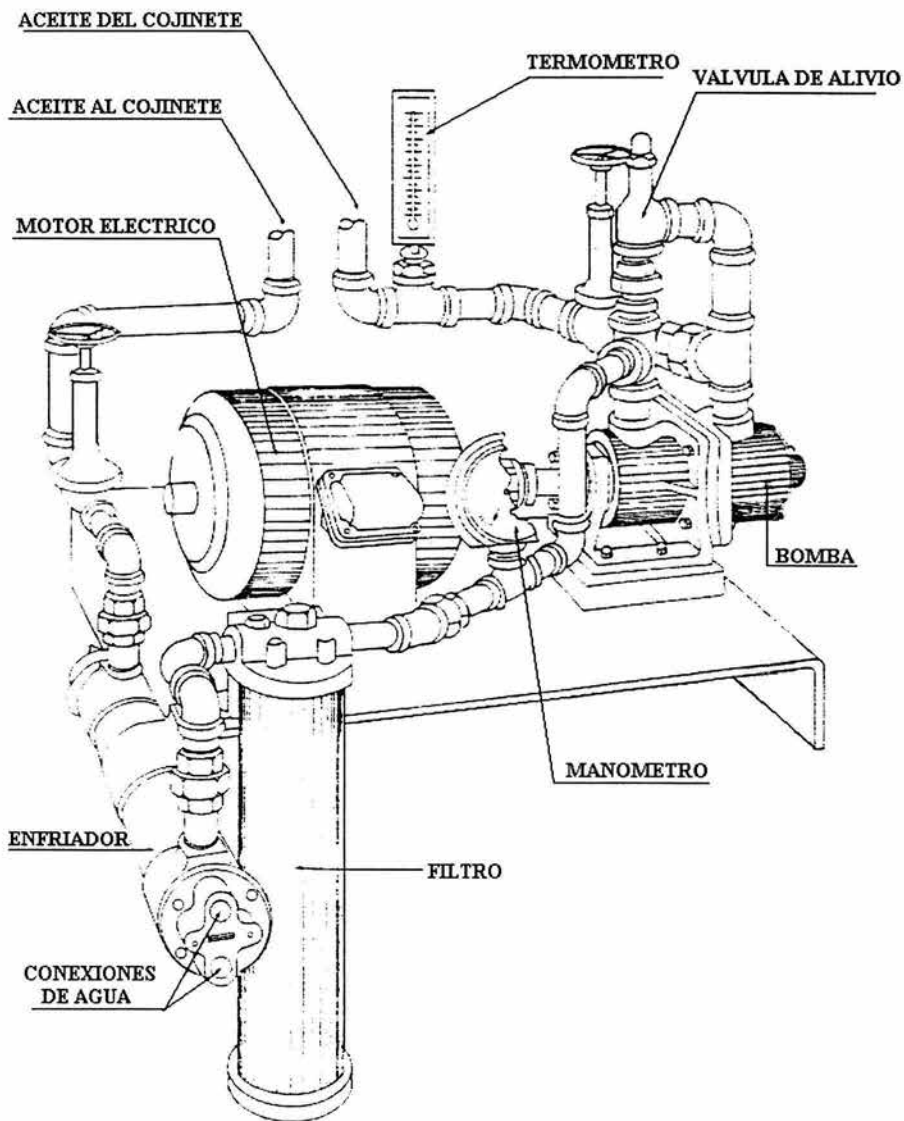


Fig. 3.7 Unidad para la circulación de aceite.

3.7 Cambio de solera y ángulo soporte del envolvente.

Para esta actividad se requiere hacer una inspección del soporte y ángulo dañado del envolvente, para determinar si está en óptimas condiciones de funcionamiento, de lo contrario se procederá a hacer el ajuste pertinente. Para llevar a cabo esta operación se debe tener cuidado de no causar deformaciones o irregularidades de la envolvente para lograr una mayor concentricidad de la misma. Lo anterior es para evitar posibles rozamientos o fugas de gases. Esta reparación comprende ambos lados (lado caliente y lado frío).

Para llevar a cabo esta actividad es necesario el rolado del ángulo soporte y solera de 3/8" según las especificaciones que se tengan del precalentador regenerativo.

3.7.1 Revisión y cambio de la sección dañada de la barra T

Efectuar revisión y cambio de la barra T que se encuentre dañada. Esta actividad incluye 48 segmentos de la barra T que serán fabricados de placa o solera de 3/8" de espesor, así como su rolado y fabricación en material A.C 1010.

3.7.2 Efectuar revisión y cambio de la envolvente del rotor dañado.

Los trabajos en esta actividad consisten en reparar las zonas deterioradas, efectuando el cambio en placa de 1/4" de espesor en material acero corten. Además esta actividad incluye la detección de fuga de gases en ductos de entrada y salida de gases, así como también su reparación.

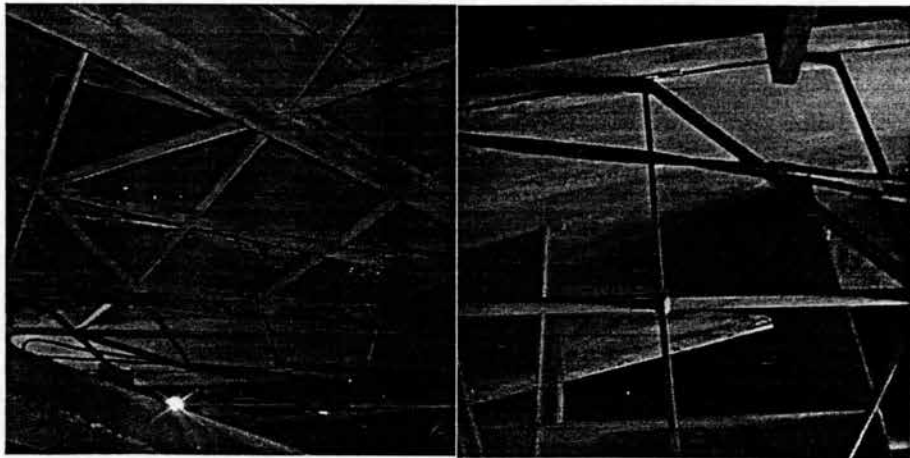
3.7.3 Revisión, mantenimiento y ajuste de los espejos del precalentador regenerativo.

Los trabajos a realizar es revisión, mantenimiento y ajuste de los espejos de precalentadores regenerativos. El alcance de esta actividad consiste en el cambio de placa dañada, en caso de encontrarse deteriorada, siendo esta de 7/8" de espesor en material A.C 1010 y/o A 36, la placa además deberá ser nivelada.

3.7.4 Retiro e instalación de solera soporte de canastas frías e intermedias.

El alcance de esta actividad es el retiro y la colocación de la solera soporte de las canastas calientes y frías, así como la fabricación de los soportes de las canastas con solera de 1/2" de espesor por 1 1/2" de ancho, en material acero al carbón.

En la fotografía 3.1 se muestra la solera soporte, esta es para cada segmento del precalentador, tanto para el lado frío como para el lado caliente.



Fotografía 3.1 Solera soporte.

3.7.5 Cierre de registros y tapas de acceso al precalentador regenerativo.

Esta actividad es el cierre de registros y tapas de acceso, efectuando el cambio de tornillería y esta será de alta resistencia grado 5, tuerca 2H, con arandelas planas, así como el empaque graficado y tela de asbesto.

3.8 Procesos de manufactura utilizados en el mantenimiento del precalentador regenerativo

3.8.1 Soldadura

Soldar es el proceso de unir o juntar metales. Ya sea que las piezas de metal se calienten hasta que se fundan o se calienten a una temperatura inferior a su punto de fusión, y se unan con un metal fundido como relleno.

3.8.1.1 Soldadura metálica con arco protegido.

La soldadura metálica con arco protegido SMAW (en inglés shielded metal arc welding, SMAW), es un proceso de soldadura con arco eléctrico que usa un electrodo consumible y consiste en una varilla de metal de aporte recubierta con materiales químicos que proporcionan un fundente y protección. En ocasiones el proceso se denomina soldadura de varilla. La varilla de soldadura normalmente tiene una longitud entre 9 y 18 pulgadas y un diámetro de 3/32 a 3/8 de pulgada. El metal de aporte debe ser compatible con el metal que se va a soldar y, por tanto, la composición debe ser muy parecida a la del metal base. El recubrimiento consiste en celulosa pulverizada (polvos de algodón y madera) mezclados con óxidos, carbonatos y otros ingredientes integrados mediante un aglutinante de silicato. En ocasiones se incluyen en el recubrimiento polvos metálicos para aumentar la cantidad de metal de aporte y agregar elementos de aleación. El calor del proceso de soldadura funde el recubrimiento y proporciona una atmósfera protectora y

escoria para la operación de soldadura. También ayuda a estabilizar el arco eléctrico y regula la velocidad a la que se funde el electrodo.

3.8.1.2 Dilatación y contracción.

El arte de soldar pone a las personas en contacto con las leyes de la dilatación y de la contracción.

- Cuando un metal se calienta, se dilata (aumenta su tamaño)
- Cuando un metal se enfría, se contrae (se hace mas pequeño)

Para entender estos conceptos se ilustra la figura 3.8 la barra está rota en x. Si se suelda este conjunto no habrá efectos perjudiciales porque el metal de la barra esta libre en sus extremos para poder contraerse y dilatarse.



Fig. 3.8 Barra rota que va a repararse

En la figura 3.9, sin embargo, la barra quebrada es ahora el miembro central de una estructura con la rotura en A. Si la soldadura se hace en la misma forma que en el ejemplo anterior, se hallará que a medida que se enfría el metal cercano al lugar A, los extremos D y E no tienen libertad para contraerse porque son firmemente retenidos por B y C. Esto daría como resultado un arqueamiento del metal hacia adentro, donde se indica con las flechas, o el rompimiento de la soldadura una vez mas.

Un método para contrarrestar los efectos de dilatación y contracción es el precalentamiento de ciertas áreas de la estructura.

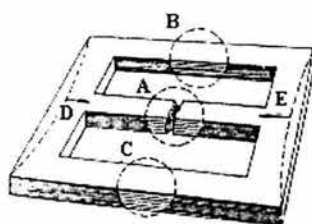


Fig. 3.9 Estructura rota.

En el ejemplo de la figura 3.9, si se calentara el área de los círculos B y C, antes de soldar, la rotura en A se abriría. Entonces podría hacerse la soldadura y a medida que la estructura se enfríe, cada parte se contraerá la misma cantidad.

3.8.1.3 Distorsión

La razón principal por la que se estudian las fuerzas de dilatación y contracción es porque ellas producen una condición conocida como distorsión. Hay tres tipos principales de distorsión que son:

1. Distorsión lateral, es la distorsión a través de la soldadura.
2. Distorsión longitudinal, es la distorsión a lo largo de toda la soldadura.
3. Distorsión angular, es la distorsión en donde las piezas de metal son retiradas de los planos horizontal o vertical. La distorsión en las uniones en T, es generalmente angular como se muestra en la figura 3.10.

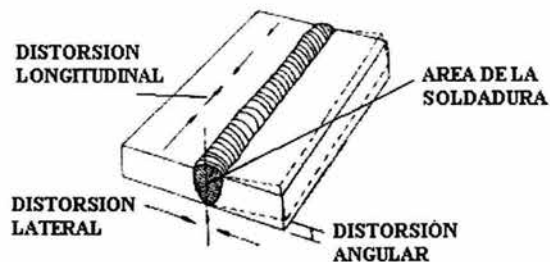


Fig. 3.10 Tipos de distorsión en una unión a tope.

3.8.1.4 Control de la distorsión

Uniones a tope – La figura 3.11a muestra un método para controlar la distorsión. Se estima la cantidad de distorsión y se coloca el metal en un ángulo que la compense. En otras palabras las piezas se colocan fuera de desalineamiento, deliberadamente de modo que la soldadura las lleve hasta el alineamiento apropiado.

Las uniones a tope pueden conservarse rectas usando sargentos o mordazas y un material de soporte como se ve en la figura 3.11b. Debe tenerse cuidado de permitir que las piezas se muevan hacia fuera y hacia adentro, pero no hacia arriba o hacia abajo.

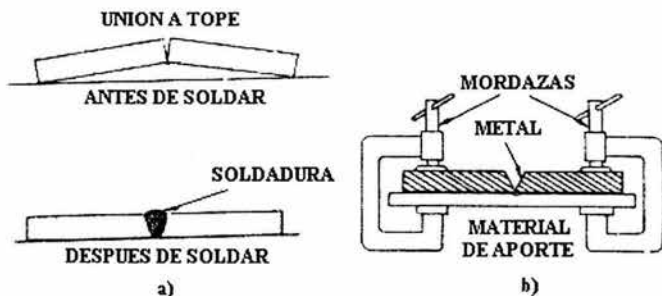


Fig. 3.11 Control de la distorsión.

El uso de barras gruesas (contrafuertes), o arreglos como el de la figura 3.12a ayudaran mucho en el control de la distorsión. El soldador aplica el contrafuerte justo antes de empezar a soldar la unión.

El método de soldar en reversa es empleado con frecuencia en costuras o uniones a tope largas y también es lo mas efectivo para reducir la distorsión. Cada soldadura se hace en la dirección que se indica con las flechas de modo que cada una determine donde empezó la anterior. Fig. 3.12b.

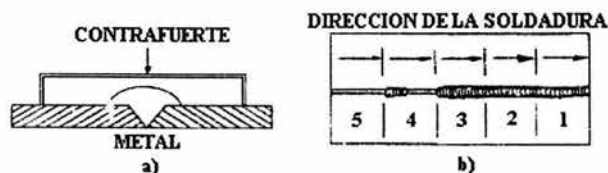


Fig. 3.12 Control de la distorsión.

Uniones T – La figura 3.13 muestra como se colocan las piezas de metal de modo que la pieza vertical sea llevada a su posición correcta por la contracción del metal soldado.

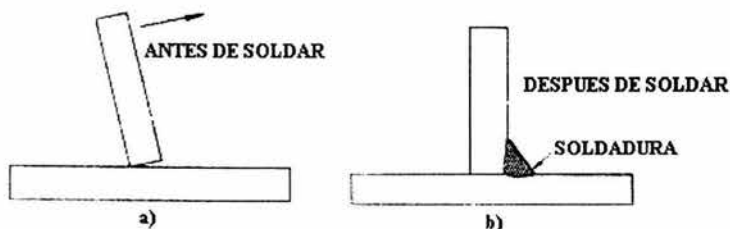


Fig. 3.13 Uniones en T.

3.8.2 Laminación “rolado”

Las operaciones básicas son la laminación “rolado” para barras, alambres, tubos y lámina plana entre los rodillos alimentadores que empujan

el material contra un tercer rodillo elevador, de empuje o doblador, con lo cual se dobla el material a una velocidad constante, como se ilustra en la figura 3.14.

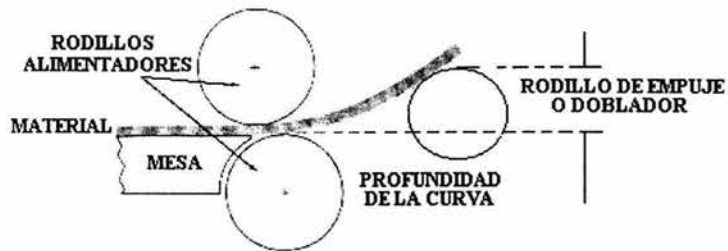


Fig. 3.14 Proceso básico de laminación "rolado" para curvar material

3.8.3 Doblado con prensa.

El prensado es un proceso para doblar lámina a diversas formas angulares, con la lámina en frío. En la figura 3.15 se ilustra la máquina manual básica para la mayoría de las operaciones de doblado.

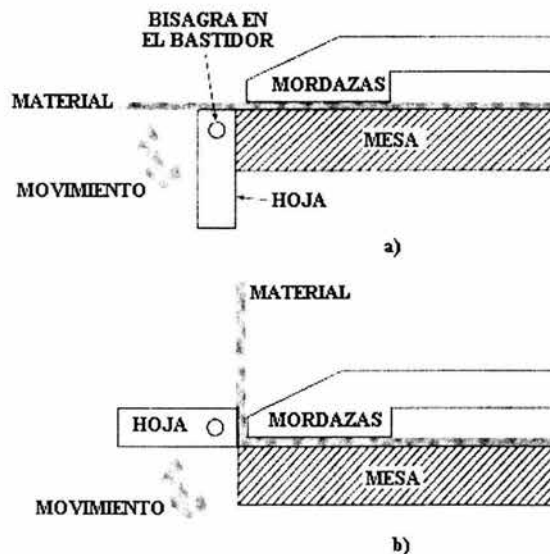


Fig. 3.15 Prensa dobladora manual básica

La máquina hace girar una hoja o plancha contra el trabajo que está sujeto en la mesa con mordazas móviles.

La mayoría de los dobleces en producción, se hacen con una prensa de cortina figura 3.16, la prensa de cortina utiliza un dado fijo sobre el cual se coloca el material y un dado movible que se empuja contra la pieza de trabajo, sujeta el material entre las dos mordazas y lo dobla a la forma deseada.

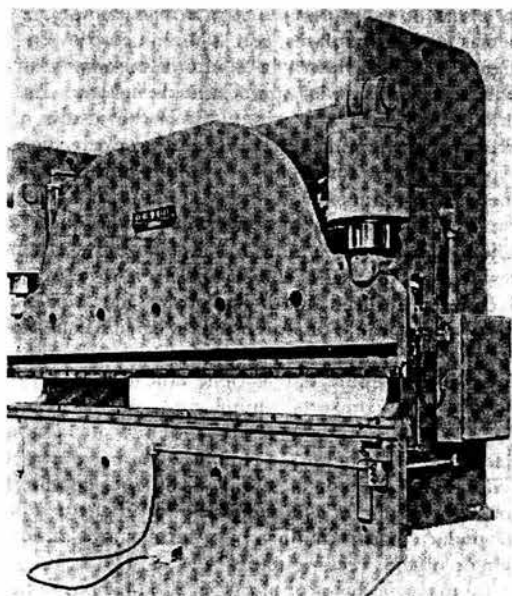


Fig. 3.16 Prensa de cortina motorizada

4. Operación del precalentador regenerativo.

4 Operación del precalentador regenerativo.

4.1 Puesta en servicio del precalentador regenerativo Ljünstrom tipo vertical.

La puesta en servicio del precalentador de aire Ljünstrom debe, por razones de seguridad, estar sujeta a una previa inspección del mismo, poniendo especial atención en los puntos que a continuación se indican:

4.1.1 Inspección del rotor

Se deberá inspeccionar ambos lados del rotor con el fin de verificar que no quede ningún material o herramienta que pueda interferir con el libre giro del rotor, ya que podrían incluso dañar los sellos.

Antes de girar el rotor con el motor eléctrico, deberá girarse manualmente o con el motor neumático, lo cual nos confirma el que no se tiene obstrucción alguna.

La figura 4.1 muestra ambos lados del precalentador regenerativo.

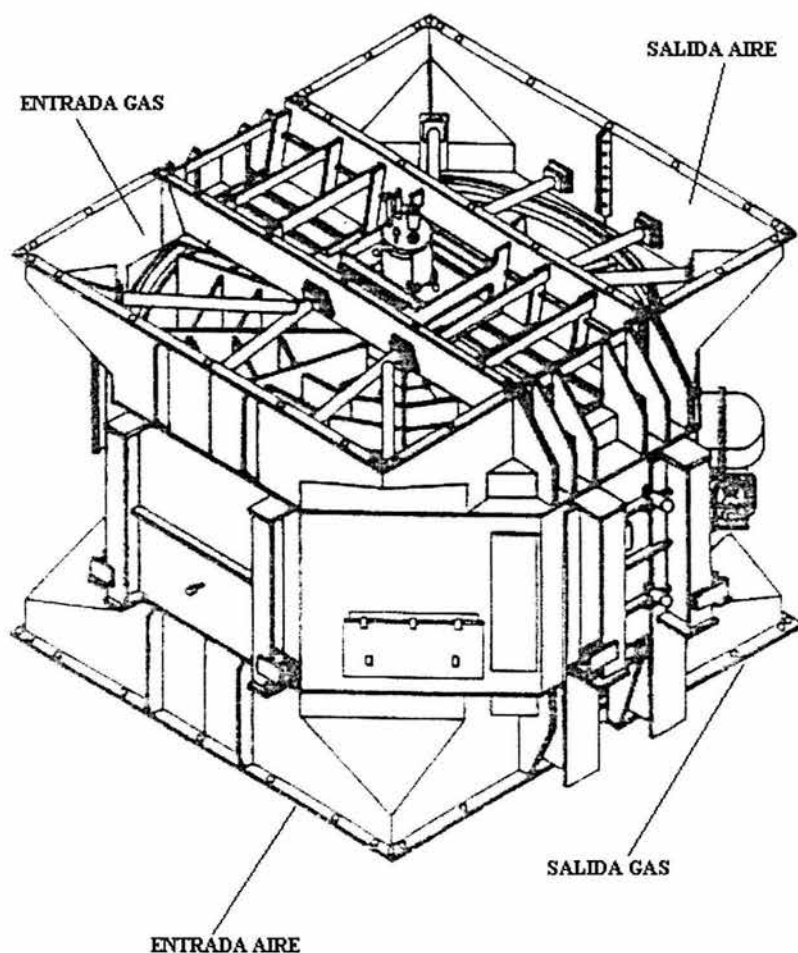


Fig. 4.1 Lado aire y lado gases del precalentador de aire regenerativo.

4.1.2 Sistema de limpieza

Se deberá verificar que la lanza del soplador de hollín no tenga interferencia en su área de recorrido, así mismo confirmar que la tobera cubre toda el área de elementos de calefacción con el fin de que se asegure su correcto funcionamiento y limpieza efectiva.

4.1.3 Niveles de aceite

Examinar los niveles de aceite de todos los equipos tales como chumaceras, reductores, cuidando que tengan su nivel correcto; es importante hacer notar que el nivel excesivo de aceite perjudica al igual que el bajo nivel.

Deben verificarse los niveles en las chumaceras del rotor, en el mecanismo accionador, y en el dispositivo de limpieza, si el aceite de estas partes no es el de trabajo normal ó esta sucio, debe sustituirse por el de la calidad recomendada a su nivel correcto, el nivel debe comprobarse estando la bomba en circulación parada, el correcto nivel es muy importante ya que un exceso de aceite puede ocasionar fugas en el muñón, existiendo el peligro de un incendio en este.

4.1.4 Rotación del rotor.

Es recomendable que se verifique la velocidad del motor principal, asegurándose que el sentido de rotación sea el adecuado para el precalentador a impulsar ya que en caso de girarlo en sentido opuesto al requerido, se causarían daños a los sellos del rotor.

4.1.5 Sellos del rotor

Deberán verificarse todos los sellos de posibles daños y de su correcto montaje, poniendo especial atención en la calibración de los mismos, la cual debe efectuarse de acuerdo a la hoja incluida en los manuales del fabricante.

Si los claros de los sellos radiales indican un desalineamiento en las placas de sector de mas de 1/16", debe instalarse un calibrador, cerca de la

cubierta del rotor, sobre uno de los diafragmas para tomar lecturas mas precisas.

Se pueden efectuar pruebas selectivas de excentricidad al momento de tomarse las lecturas de los “claros” de los sellos circunferenciales.

Si la excentricidad es de mas de 1/16” se debe usar un calibrador para verificarla con cuidado, puede ser necesario realinear el rotor, para mejorar el alineamiento y/o la excentricidad. Lo mejor es efectuar una corrida en frío de 24 a 48 hrs.

Antes de que se arranque la unidad se debe verificar el sentido de rotación del motor que acciona el cople del reductor de velocidad. Una rotación inversa aun durante una fracción de revolución puede causar daños severos a los sellos radiales.

Antes de encender el generador de vapor, tanto los ventiladores de tiro forzado como los precalentadores de aire regenerativo deben estar en servicio.

4.1.6 Unidad de circulación de aceite

Inspeccionar todos los componentes del sistema de circulación de aceite, verificando las uniones de las tuberías para evitar fugas y/o infiltraciones de aire al sistema.

4.1.7 Sistema de enfriamiento

Si se requiere enfriamiento por agua, asegurarse que se suministre la cantidad suficiente de agua, y verificar igualmente las conexiones.

4.1.8 Corrida en frío

Después de verificar los puntos anteriores, es recomendable hacer girar el rotor con el motor eléctrico en operación, por espacio de una hora con el fin de determinar si son necesarios ajustes adicionales, por ejemplo:

Si en este periodo de prueba se escuchan golpeteos esporádicos en el rotor, es muy probable que se requiera ajustar algunas uniones de segmentos de cremallera.

Si los mismos golpes se escuchan constantes, se debe ajustar la distancia entre piñón y cremallera.

4.2 Mantenimiento preventivo

Las siguientes recomendaciones son importantes para llevar a cabo como mantenimiento preventivo:

- Cambiar el aceite de las chumaceras una vez por año, cambiar filtros y checar que el aceite extraído este libre de partículas metálicas.
- Checar el aceite del reductor cada seis meses, si ha perdido sus propiedades de viscosidad, reemplazarlo; de lo contrario se recomienda cambiarlo cada año.
- Engrasar los equipos auxiliares una vez por año.
- Inspeccionar el precalentador de aire internamente.
 1. Checar condiciones de elementos y sellos.
 2. Checar soldaduras.

- Los elementos y sellos del lado frío pueden ser inspeccionados durante la operación del precalentador de aire a través de la puerta de observación.
- Checar niveles de lubricantes diariamente.
- Monitorear temperaturas de chumaceras.
- Monitorear presiones diferenciales.
- Reemplazar los relevadores en la alarma de paro de rotor anualmente.

4.3 Precauciones que deben tomarse cuando el precalentador de aire se va a operar o inspeccionar.

- Cuando la unidad está en operación, mantenerse alejado de las partes en movimiento.
- Cuando la unidad esta fuera de operación, los arranques de prueba o finales deben hacerse bajo la dirección del supervisor responsable.
- Antes de inspeccionar el interior del precalentador o equipos auxiliares, asegurarse que el suministro de energía se encuentre interrumpido y el rotor este trabado.
- Antes de inspeccionar el interior del precalentador o equipos auxiliares, asegurarse que no haya gases tóxicos; debe ventilarse perfectamente.
- Antes de operar el precalentador, asegurarse que no haya herramienta o materiales extraños en el interior, es recomendable girarlo manualmente para mayor seguridad.

4.4 Precauciones para paros de emergencia.

- Pérdida de carga en la turbina – El precalentador deberá continuar su rotación normal.
- Pérdida de la corriente eléctrica de los auxiliares – en este caso el ventilador tenderá a pararse y el fuego en el hogar del generador de vapor a extinguirse. En la mayor parte de las instalaciones, el motor auxiliar accionará el precalentador en esas condiciones de falla de corriente eléctrica.
- Parada del rotor – cuando se quema combustóleo pesado, existe algún peligro de incendio. Un deficiente precalentamiento del aire de combustión a quemadores puede resultar en una deficiente combustión y en consecuencia un arrastre de combustible sin quemar que se deposita en los elementos calefactores pudiendo provocar un incendio en el flujo de los gases.

4.5 incendios de precalentadores de aire

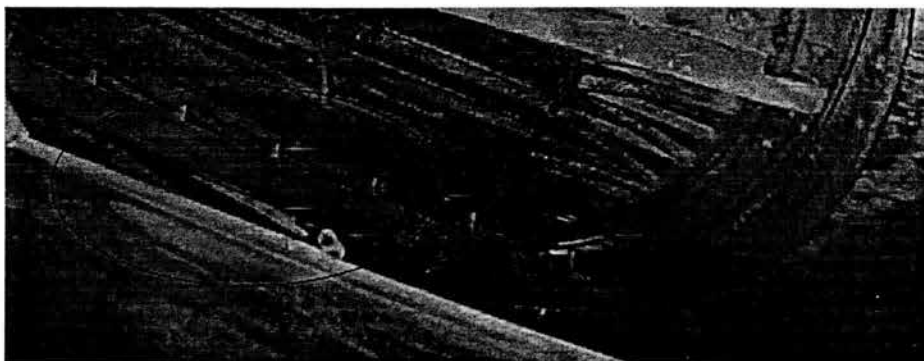
Los incendios de los precalentadores de aire Ljünstrom son raros pero ocurrirán cuando materiales combustibles sean arrastrados por el flujo de gas dentro del precalentador de aire y se acumulen sobre las superficies de calentamiento. Sin embargo, si una combustión apropiada se mantiene y los procedimientos del soplado recomendado se siguen, no habrá ocasión para un incendio.

Se recomienda tener hidrantes del sistema contra incendio situados cerca de los precalentadores de aire, así como mangueras para llevar el agua desde los hidrantes al precalentador de aire.

4.5.1 Procedimiento a seguir

A la primera evidencia de fuego, por la indicación de temperatura, debe hacerse una inspección de los precalentadores de aire. Si la temperatura continúa aumentando y/o el fuego es visible, los ventiladores deberán ser disparados y deberá admitirse agua al precalentador en cantidades suficientes para extinguir el fuego.

En la fotografía 4.1 se muestra el dispositivo de limpieza del precalentador para que en caso necesario pueda ser utilizado para apagar el incendio y así evitar se dañen en lo mas mínimo los elementos de transmisión de calor.



Fotografía 4.1. Dispositivo de limpieza del precalentador, este se encuentra en la parte del lado frío del precalentador.

4.6 Puntos principales de inspección

A continuación se incluyen las recomendaciones de inspección de acuerdo a equipos auxiliares y/o componentes del precalentador.

Unidad motriz principal.

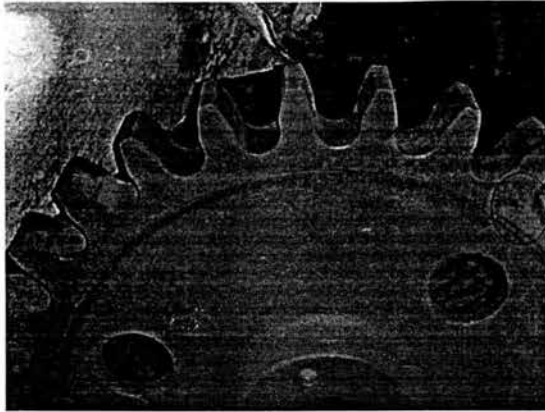
Componentes principales:

- Reductor de velocidad.
- Motor eléctrico.
- Motor neumático.
- Coples.
- Sello de la cubierta del piñón.

Inspección:

- Corriente en el motor eléctrico.
- Fugas de aceite y/o grasa, si es necesario agregar.
- Viscosidad del aceite reductor, debe checar a los seis meses de operación, si ha perdido sus características debe ser reemplazado, el tiempo máximo de uso de este aceite se recomienda que sea de un año.
- Vibraciones anormales, ruidos y calentamiento.
- Fugas en la cubierta del piñón y/o sello de la misma.
- Correcto funcionamiento del motor neumático una vez al mes.

En la fotografía 4.2 se ilustra una pequeña fisura en el piñón de la unidad motriz principal, esta se detecto mediante el uso de líquidos penetrantes, de las pruebas no destructivas realizadas en la unidad motriz.



Fotografía 4.2. En el círculo se ilustra la falla detectada mediante el uso de líquidos penetrantes.

Sistema de circulación de aceite:

Componentes principales:

- Motor eléctrico.
- Bomba.
- Filtro.
- Enfriador.
- Manómetro.
- Termómetro.

Inspección:

- Corriente en el motor eléctrico.
- Fugas de aceite o infiltraciones de aire.
- Vibraciones, ruidos y calentamiento.
- Presión de aceite (rango normal de 1.5 a 5 Kg/cm²).
- Filtro.
- Flujo del agua al enfriador (cuando aplique).

Rotor.

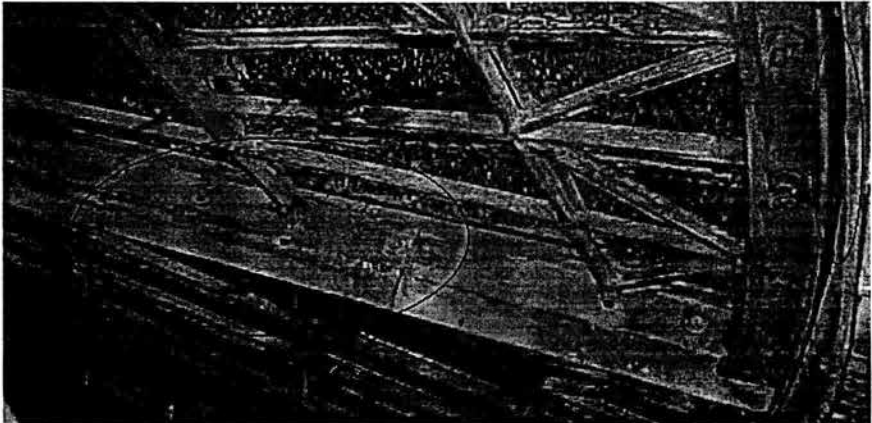
Componentes principales:

- Rotor propiamente.
- Sellos.
- Canastas.

Inspección:

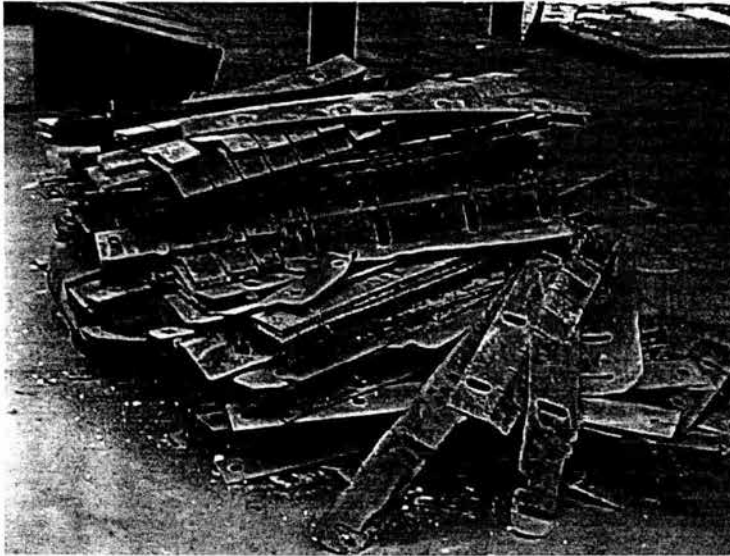
- Rotación adecuada.
- Desbalanceo en el rotor.
- Contacto o calibración de sellos.
- Elementos dañados.

En la fotografía 4.3 se muestra la colocación de los sellos radiales y circunferenciales con la calibración requerida de acuerdo a el ajuste del diseño del precalentador.



Fotografía 4.3 Sellos radiales y circunferenciales calibrados.

En la fotografía 4.4 se ilustran los sellos radiales del precalentador que se detectaron dañados, para posteriormente cambiarlos por sellos que se encuentren en óptimas condiciones.



Fotografía 4.4 Sellos radiales del precalentador que se detectaron dañados.

Soplador de hollín.

Componentes principales:

- Motor.
- Reductor.

Inspección:

- Corriente en el motor eléctrico.
- Fugas de aceite y/o grasa.
- Vibración anormal, ruidos y calentamiento.

4.7 Precauciones contra la corrosión y obstrucción.

Los problemas de corrosión y obstrucción del precalentador, se deben a las siguientes condiciones de operación:

1. Alto contenido de azufre en el combustible.
2. Temperatura de metal en el lado frío cercano al punto de rocío.
3. Frecuentes paros y arranques de la caldera.
4. Lapsos muy largos de limpieza del precalentador con el soplador de hollín.
5. Fugas en el calentador de aire a vapor.

4.7.1 Precauciones:

1. Verificar las condiciones de operación, para evitar los puntos señalados anteriormente.
2. Llevar un control sobre la frecuencia de soplado.

4.8 Paro del rotor con la caldera en operación.

Cuando se produce un paro del rotor del precalentador estando en operación la caldera, es conveniente conocer los efectos que esto puede traer como consecuencia, especialmente si el combustible empleado es aceite

En el caso de precalentadores equipados con el motor neumático auxiliar, el problema se reduce a la corrección de la falla; pero si por cualquier razón, no se cuenta con este equipo, es importante tomar en cuenta los siguientes puntos:

Con el paro del calentador, la temperatura del aire entrando a la caldera, disminuirá produciendo inestabilidad en el quemado del combustible lo que puede traer como consecuencia que se tengan depósitos de combustible en los elementos; esto es peligroso debido a que puede incendiarse el precalentador teniendo graves daños.

El tener el rotor estático con la caldera en operación, puede provocar también que se trabaje, debido a las expansiones, normalmente toma de 5 a 10 minutos para que se produzca este efecto. Para evitar lo anterior se recomiendan los siguientes pasos:

1. Arrancar el rotor por 5 minutos, esperar 15 segundos y repetir la operación por varios minutos para equilibrar la expansión del rotor.
2. Si lo anterior no es posible, interrumpir el suministro de energía y usar la manivela sobre la extensión de flecha; después de girar el rotor dos revoluciones, puede operarse con el motor eléctrico ya que la expansión tiene el suficiente equilibrio para su operación normal.
3. Una vez que el rotor gira libremente, debe ponerse en operación el soplador de hollín hasta eliminar los depósitos que hubiera.
4. Una reducción en la carga de la caldera o en caso de unidades de tiro forzado, la apertura de una puerta de acceso en la entrada de gas del precalentador, o ambos, traen como resultado que la temperatura del gas entrando al calentador sea baja, lo cual ayudará para el arranque del rotor durante la operación de la caldera.

Observar si se presenta combustible sin quemar en los elementos, si no son removidos por el soplador de hollín de la caldera deberá salir de servicio y el precalentador lavarse.

ANEXOS

ANEXOS

A.1 Líquidos penetrantes:

Se limpia la superficie metálica, se aplica el líquido penetrante, se deja transcurrir el tiempo adecuado para su penetración, se limpia nuevamente la superficie mediante el uso de un solvente que deja intacto los lugares donde hubo absorción del líquido.

La aplicación de líquidos penetrantes permite la detección de discontinuidades superficiales tales como grietas y porosidades que pueden provocar rupturas inesperadas. Estas pruebas se aplican a aceros inoxidable, piezas coladas, soldaduras, cuerpos de bombas, etc.

Existen dos tipos de pruebas; líquidos penetrantes colorantes y líquidos penetrantes fluorescentes; en ambos casos el procedimiento de aplicación es el mismo, usándose los fluorescentes cuando se necesita una mayor precisión, es decir, cuando se requiere detectar grietas o porosidades más finas.

A.2 Partículas magnéticas:

Los resultados de esta prueba son los mismos que se obtienen mediante los líquidos penetrantes con las ventajas que por este procedimiento pueden detectarse discontinuidades subsuperficiales que no revelan los primeros. Esta prueba solo puede aplicarse sobre materiales magnéticos, acero al carbón, o de baja aleación, piezas de fundición, etc.

Las modalidades de esta inspección consisten en que las partículas magnéticas pueden aplicarse en suspensión mediante un solvente o un polvo,

también puede usarse caucho magnético de alta intensidad para partes difíciles como agujeros y dientes de piñón por ejemplo, el campo magnético puede provocarse mediante el uso de un imán permanente o con electroimán.

Se aplican las partículas magnéticas en la zona que se desea inspeccionar, mientras se forma un campo magnético en ella, provocando la agrupación de las partículas en los lugares defectuosos de la zona magnetizada; (dicho campo es perpendicular a la dirección de la grieta)

En la figura A1 se ilustra el instrumento para llevar a cabo este tipo de inspección.

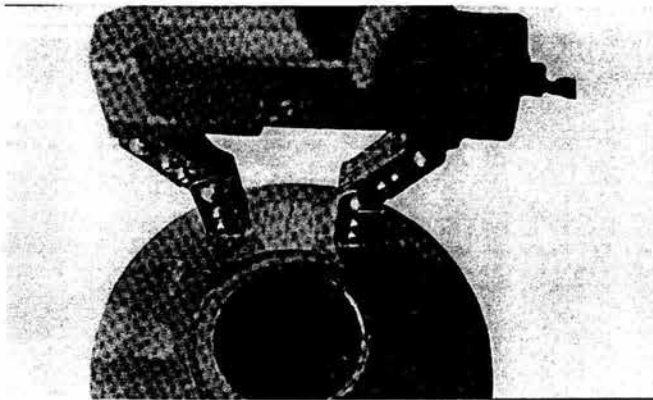


Fig. A1 Yugo magnético para realizar las pruebas no destructivas mediante el uso de partículas magnéticas.

A.3 Pruebas ultrasónicas:

Las pruebas ultrasónicas se usan para obtener dos tipos distintos de resultados:

1)medición de espesores y 2)detectar defectos internos y/o superficiales en piezas metálicas.

La medición de espesores permite evaluar la velocidad de corrosión o desgaste de distintos materiales, pudiéndose así tomar las medidas de protección que así se requiere.

La detección de defectos tales como grietas, porosidades, inclusiones y laminaciones mediante pruebas ultrasónicas permite a su vez prevenir rupturas inesperadas.

En la medición y verificación de espesores se utiliza el instrumento ultrasónico USM-2 el cual mediante transductores (palpadores) adecuados al espesor que se desea medir, emite ondas ultrasónicas que al ser recuperadas determinan dicho espesor, estableciendo la relación de proporcionalidad entre este y el tiempo transcurrido entre la emisión y recuperación de la onda ultrasónica, también se puede determinar la existencia o no de defectos, su ubicación y tamaño aproximado.

En la figura A2 se muestra el equipo para realizar esta prueba



Fig. A2 Equipo utilizado para realizar las pruebas no destructivas por ultrasonido.

A.4 Análisis metalografico no destructivo.

Estas pruebas se aplican a toda clase de materiales metálicos con el fin de obtener diversos datos que derivan de la observación de la estructura cristalográfica de los metales: composición química, tratamiento térmico, temperatura alcanzada durante el servicio, proceso de fabricación de la pieza, deformación a la cual fue sujeto el material, forma y causa de grietas cuando las hay.

La primera operación consiste en pulir mecánica o electroquímicamente la zona donde se tomará la metalografía. Completa la operación anterior, se aplica en la zona el reactivo apropiado observándose con el microscopio metalográfico.

En caso de que sea difícil o impráctico observar la superficie directamente al microscopio, se puede tomar una replica de la estructura del metal con un plástico especial en el cual queda impresa la estructura, procediéndose a su observación microscópica y a obtener las foto micrografías correspondientes.

A.5 Arreglo típico de canastas lado caliente y caliente intermedio.

Para introducir las canastas dentro de los 12 segmentos se recomienda introducir primeramente todas las canastas AB, (girar el rotor para realizar esta actividad), después la C y así sucesivamente, esto para evitar el desbalanceo del rotor.

En la figura A3 se ilustra el arreglo por sector de las canastas calientes e intermedias.

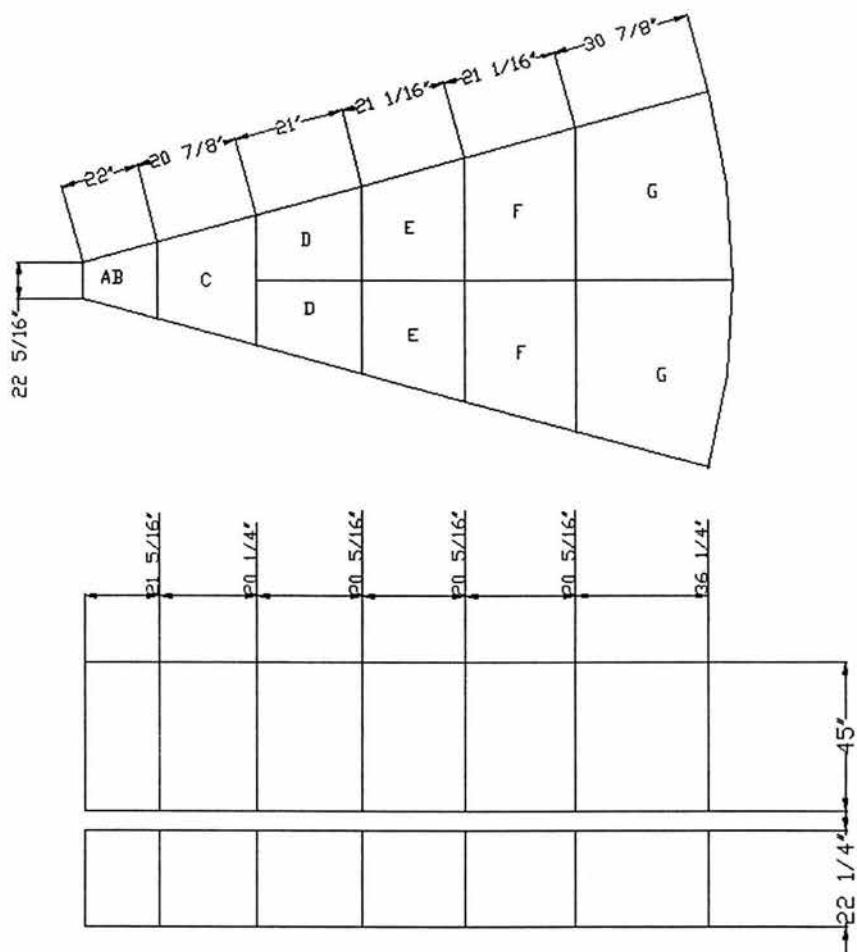


Fig. A3 Arreglo tipico de canastas lado caliente e intermedio.

Cantidad de canastas por rotor

➤ AB = 12

➤ C = 12

➤ D = 24

➤ E = 24

➤ F = 24

➤ G = 24

A.6 Arreglo típico de canastas del lado frío.

Para la colocación de las canastas del lado frío se seguirá el mismo método que se lleva a cabo para la colocación de las canastas calientes e intermedias.

En la figura A4 se muestra el arreglo por sector de las canastas del lado frío o lado aire.

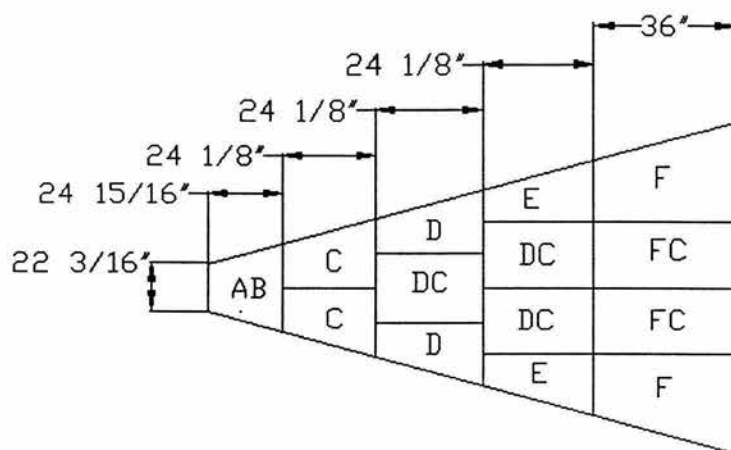


Fig. A4 Arreglo típico de canastas lado frío

- Tolerancias $+0 -1/4$ ".
- Todas las canastas son reversibles.
- Material cubierta acero estructural A - 36.
- Material laminillas calefactoras acero SAE 1010.
- Cantidad de canastas por rotor:
 - AB = 12
 - C = 24
 - D = 24
 - DC = 36
 - E = 36
 - F = 24
 - FC = 24

A.7 Ejemplo para el doblado y corte para la rehabilitación de la placa de sector sin sujeción.

La figura A5 muestra un ejemplo del dimensionamiento de la placa de sector sin sujeción para su respectivo corte y doblado.

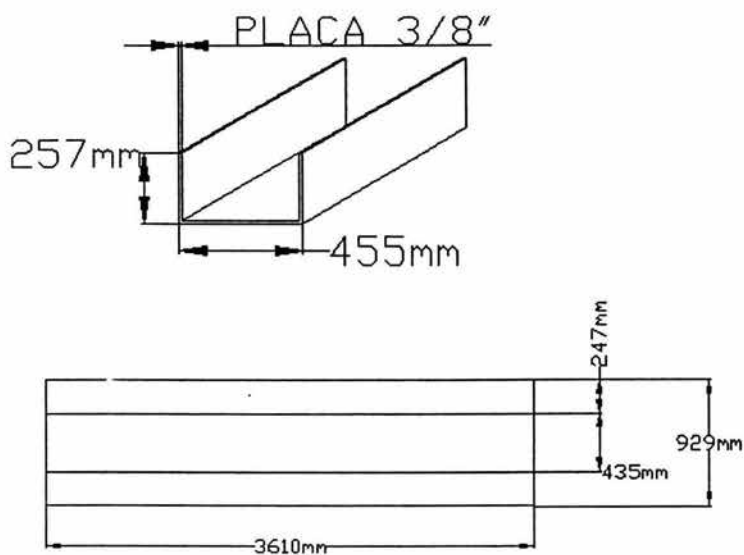


Fig. A5 Ejemplo del dimensionamiento de la placa de sector sin sujeción para su corte y doblado.

Ejemplo:

$$257\text{mm} - 10\text{mm (Espesor de la placa)} = 247\text{mm}$$

$$247\text{mm} \times 2 \text{ (ambos lados de la placa)} = 494\text{mm}$$

$$455\text{mm} - (10\text{mm} \times 2) = 435\text{mm}$$

Ancho de la placa que deberá cortarse para posteriormente ser doblada

$$435\text{mm} + 494\text{mm} = 929\text{mm}$$

En la figura A6 se muestra como en la figura A5 un ejemplo del dimensionamiento de la placa a cortar y doblar, los dobleces en ambos ejemplos son a 90°.

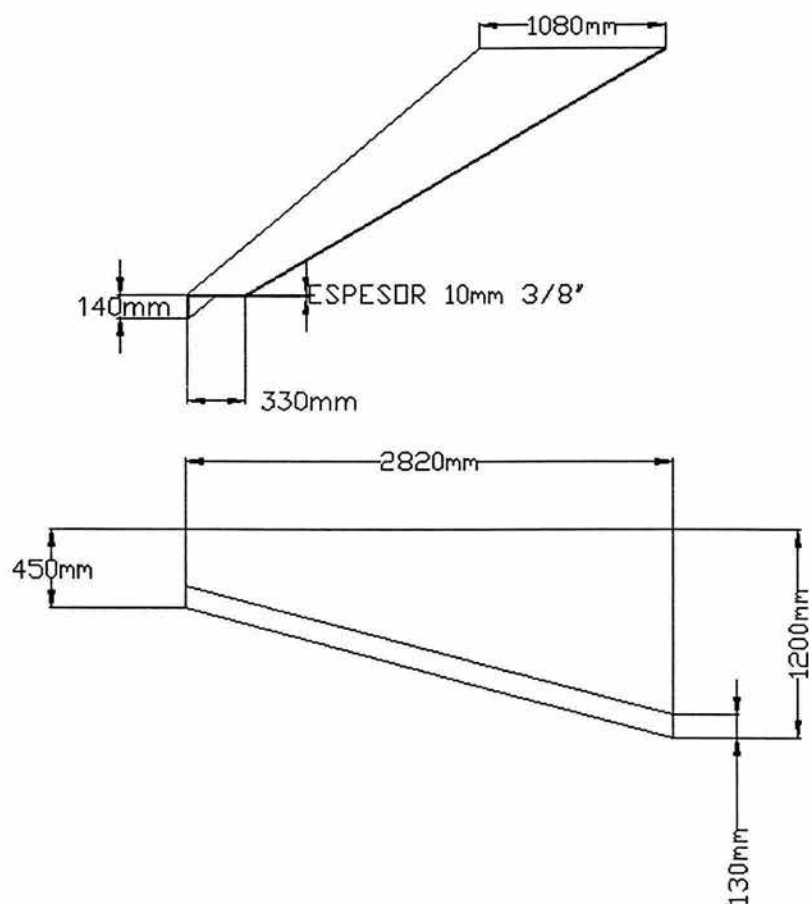


Fig. A6 Ejemplo de dimensionamiento de la placa de sector sin sujeción para su corte y doblado.

Dimensiones para el corte de placa de 3/8" para la rehabilitación de la placa de sector sin sujeción.

$$140\text{mm} - 10\text{mm (Espesor)} = 130\text{mm}$$

$$330\text{mm} - 10\text{mm} = 320\text{mm}$$

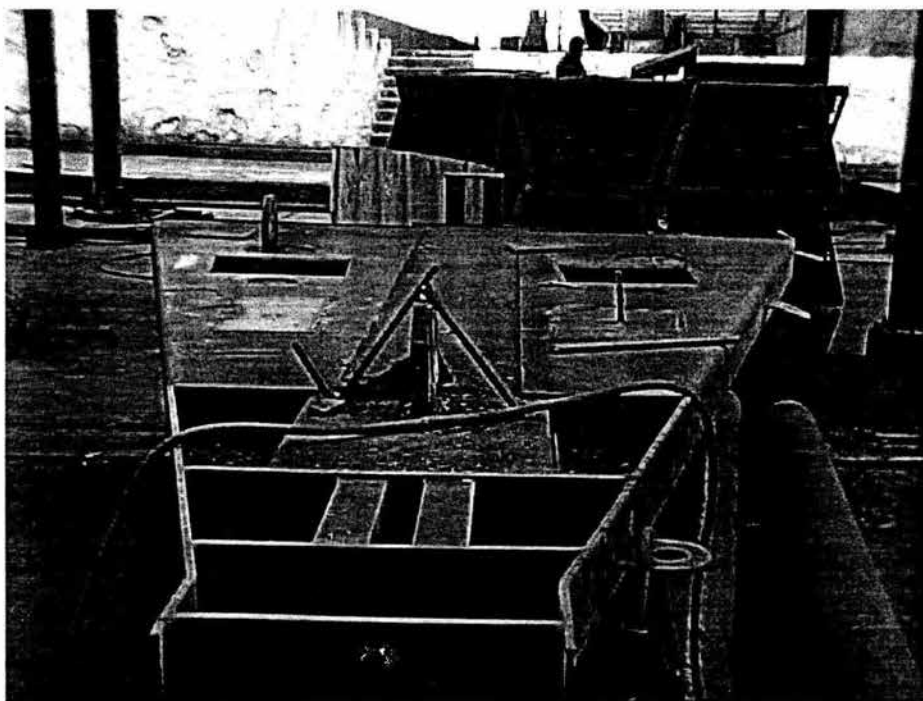
$$320\text{mm} + 130\text{mm} = 450\text{mm}$$

$$1080\text{mm} - 10\text{mm} = 1070\text{mm}$$

$$140\text{mm} - 10\text{mm} = 130\text{mm}$$

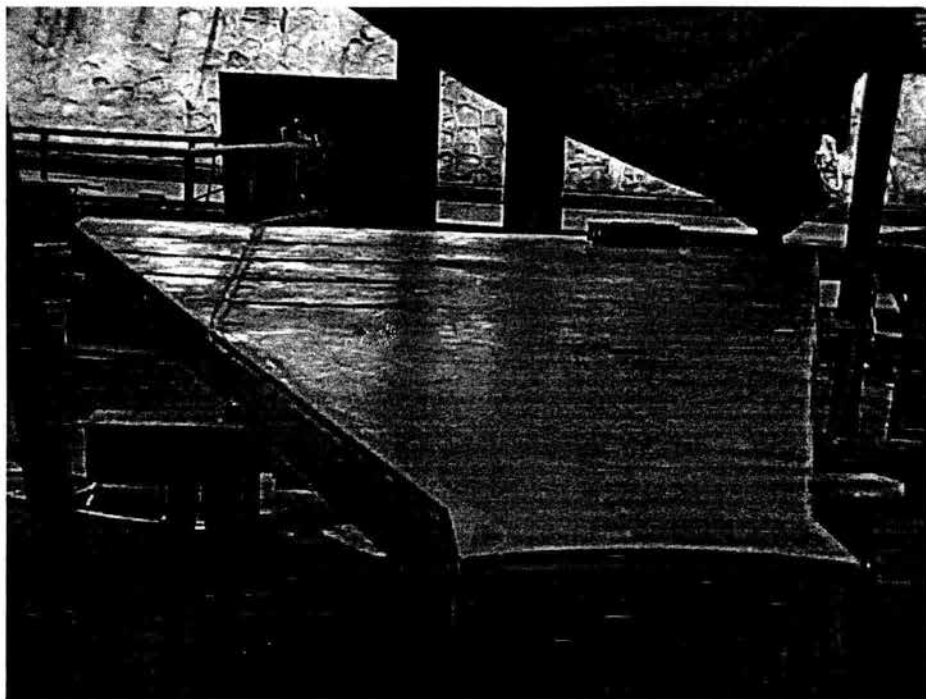
$$1070\text{mm} + 130\text{mm} = 1200\text{mm}$$

En la fotografía A1 se puede observar la rehabilitación a la placa de sector sin sujeción en el área de trabajo



Fotografía A1 Rehabilitación de la placa de sector sin sujeción.

En la fotografía A2 se observa la placa de sector sin sujeción ya rehabilitada para posteriormente colocarla dentro del precalentador en su respectivo lugar.



Fotografía A2 Placa de sector sin sujeción rehabilitada.

Conclusiones.

Conclusiones.

Es de suma importancia conocer el funcionamiento del precalentador de aire, así como también los componentes principales del mismo para prolongar su vida útil y su óptimo funcionamiento, también en el presente trabajo se describen las partes principales y sus componentes auxiliares y se describen las posibles fallas y la corrección de las mismas, también es importante que el operador y el mecánico de mantenimiento estén familiarizados con la operación del precalentador, ya que de este depende la eficiencia del generador de vapor y además la reducción del consumo de combustible, debido a que al operar el precalentador de aire regenerativo en óptimas condiciones se puede aumentar el rendimiento de la central de un 3 a un 5%, por lo tanto se debe llevar a cabo una supervisión continua del estado de funcionamiento del precalentador para lograr el objetivo deseado y para ello se describe en el presente trabajo un programa de supervisión que describe los principales componentes del precalentador para que este se realice.

Bibliografía.

Bibliografía.

- Elementos de máquinas
Séptima edición
M. F. Spotts
Ed. Pearson educación
- Diseño de elementos de máquinas
Segunda edición
Robert L. Mott
Prentice Hall
- Diseño de máquinas teoría y práctica
Aarón D. Deutschrian
Compañía editorial continental S.A. de C.V. México
- Fundamentos de manufactura moderna, materiales procesos y sistemas
Mikell A. Groover
Prentice Hall
- Procesos para ingeniería de manufactura
Alting
Alfaomega
- Procesos de manufactura y materiales para ingenieros
Lawrence E. Doyle
Editorial Diana México

- Procesos básicos de manufactura
H. C. Kazanas
Mc. Graw Hill
- Automatización neumática y electroneumática
Salvador Millán
Alfaomega Marcombo
- Sistemas neumáticos principios y mantenimiento
S. R. Majumdar
Mc. Graw Hill
- Plantas de vapor arranque, prueba y operación
Charles Donald Swift
Ed. CECSA
- Instructivo del generador de vapor Mitsubishi
Central termoeléctrica Manzanillo.