



UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS “Carlos Rafael Rodríguez”

FACULTAD DE MECÁNICA

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: *Metodología para la reparación de los compresores recíprocos de una y dos etapas.*

Autor: Jorge Néstor Pérez Escalona

Tutor: MSc. Juan Gabriel Noa Águila

MSc. Pedro Rodríguez Escalona

Cienfuegos, junio de 2014.



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”, como parte de la culminación de estudios de la Ingeniería Mecánica, autorizando que el mismo sea utilizado por la institución para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total, y que además no podrá ser presentado en eventos ni publicado sin autorización de su autor.

Firma del Autor

Firma de los Tutores

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido revisado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y que el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

Firma del Responsable del Dpto. ICT

Firma del Responsable del Dpto. de Computación

Pensamiento

“Llamaremos mecánico al conocimiento engendrado por
la experiencia (...)”

Aforismos, Leonardo da Vinci.

Dedicatoria

*A mi familia toda,
por el apoyo ofrecido en la realización de este proyecto;*

*A mi hijo Lázaro,
como muestra de perseverancia en el camino de la realización.*

Agradecimientos

Agradecer es no olvidar jamás a quienes han estado en los momentos y lugares precisos, aun cuando parecía no salir el sol.

Doy gracias infinitas a mi madre, por el regalo mortal de mi propia existencia.

A Yanet, porque su compañía trasciende los años.

A los amigos verdaderos, con manchas y luces, por ser siempre ellos.

A mis tutores, por el tiempo dedicado.

A todos, mi profunda gratitud.

Resumen

El presente trabajo pretende establecer una metodología para la reparación de los compresores recíprocos mediante la cual permita guiar al grupo técnico de mantenimiento con el fin de realizar las tareas y actividades inherentes al servicio, teniendo en cuenta los valores límites a partir de los cuales se deben retirar partes y piezas en el momento de realizar una reparación. Lograr en el Área Técnica de Mantenimiento a través de los grupos técnicos que lo conforman, se cumpla con sus funciones dentro de la organización del Mantenimiento

Abstract

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	I
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	1
1.1 Generalidades sobre los compresores reciprocantes	1
1.2 Análisis del diseño de los compresores	5
1.3 Descripción de la instalación	9
1.3.1 Descripción del proceso:	9
1.3.2 Operación normal:	10
1.4 Análisis del tipo de fluido. Sus características	15
1.5 Estudio de elementos del compresor recíprocante	15
1.5.1 Caracterización de la situación de los elementos críticos de los compresores reciprocantes.	15
CAPÍTULO II: ANÁLISIS Y MODELACIÓN DE LOS PROBLEMAS DE LOS COMPRESORES RECÍPROCANTES	19
2.1 Análisis de causas de averías producidas en compresor de hidrógeno	19
2.1.1 Programa para la revisión y reparación de los compresores.....	32
2.1.2 Verificaciones a realizar	42
2.2 Normativas y funciones de los diferentes actores en la gestión del mantenimiento de los compresores	44
CAPÍTULO III: INSPECCIONES Y TIPOS DE ENSAYOS. PRUEBAS A QUE SON SOMETIDOS LOS ELEMENTOS DE LOS COMPRESORES	50
3.1 Valores normados para el retiro de los elementos fundamentales:	50
3.1.1 Revisión y reparación del cilindro:	50
3.1.2 Revisión y reparación de las válvulas:	52
3.1.3 Revisión y reparación del Pistón. Aro del pistón:	55
3.1.4 Revisión y reparación del Vástago:	60
3.1.5 Revisión y reparación del bulón de la cruceta	62

3.1.6 Revisión y reparación de las tejas de la biela:	65
3.1.7 Revisión y reparación del perno de la biela:.....	69
3.1.8 Revisión y reparación del Cigüeñal. Rodamientos del cigüeñal:	71
3.2 Procedimiento para el montaje final de todas las partes reparadas.....	77
CONCLUSIONES.....	79
RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXOS	84

INTRODUCCIÓN

La Empresa Mixta Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”, Cuvenpetrol, de Cienfuegos, tiene un parque de equipo con más de 25 años para la impulsión de hidrógeno hacia las plantas procesadoras del crudo, es decir, compresores reciprocantes los cuales son considerados equipos críticos en esta entidad, debido a causas de averías constantes.

Los compresores alternativos o reciprocantes de pistón se han utilizado con éxito durante décadas en una amplia gama de industrias y aplicaciones que utilizan gas a presión. Estas máquinas robustas con un nivel de alto rendimiento en diversas condiciones de funcionamiento, son fáciles de controlar y son adecuados para gases ligeros, como el hidrógeno. Su amplio rango de operación y facilidad de mantenimiento, explica por qué están todavía en funcionamiento incluso después de varias décadas.

Las plantas petroquímicas y químicas utilizan los compresores para presurizar gas para una serie de reacciones químicas. Estos compresores son parte integral del proceso de fabricación química y donde el tiempo muerto no planificado es financieramente dañino.

El petróleo crudo es la materia prima principal de esta industria y está constituido por una mezcla de diferentes tipos de hidrocarburos, cuyas moléculas se componen de carbono e hidrógeno, con un pequeño porcentaje de otros elementos conformando hidrocarburos de estructuras más o menos complejas como compuestos heterocíclicos de nitrógeno, oxígeno y azufre, compuestos órgano metálicos, además de contener sedimentos inorgánicos y agua. Hay una serie de características que ofrecen una primera evaluación de las condiciones de procesamiento de un crudo, tanto en su fraccionamiento primario como en otros procesos de refinación posteriores que es necesario conocer: contenido en sales, agua y sedimentos, corrosividad y contenido en metales.

El ácido sulfhídrico al pasar a la fase de vapor es un gas venenoso que puede ser causa de graves accidentes durante la manipulación del crudo, por la formación de

atmósferas irrespirables y con consecuencias fatales. La determinación del contenido en sulfhídrico no está normalizada y su análisis se realiza mediante técnicas analíticas adecuadas.

El crudo tiene un promedio productivo complejo para poder obtener: diesel, gasolina, aceites, nafta, lubricantes y para garantizar estas producciones se necesita el hidrogeno para las plantas en el proceso en el hidrofinación de diesel, este es un proceso vital de esta planta en la cual se utiliza el hidrógeno para la desulfuración, cuyo impulso se realiza por compresores reciprocantes a fin de garantizar el flujo necesario de este gas. Estos compresores son considerados actualmente como equipos críticos por el período de tiempo en explotación, por lo que se requiere un cuidado y mantenimiento exigente.

Justificación del estudio:

Necesidad de que exista un procedimiento único para la realización de la reparación capital de los compresores que le permita al personal involucrado estar mejor preparados para la ejecución de dicha reparación.

Problema de investigación:

La no existencia de una metodología única como guía a realizar durante el mantenimiento en la Refinería de Petróleo Camilo Cienfuegos impide una correcta planificación del mismo.

Hipótesis de la investigación:

Con la elaboración de una metodología para la realización de la recuperación en los mantenimientos de los compresores reciprocantes de la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos” se proporcionará una herramienta más para realizar la gestión del mantenimiento de una forma eficiente.

Objetivo general:

Elaborar una metodología única que trace las directivas a la dirección de mantenimiento y de servicios técnicos de la Refinería de Petróleo “Camilo

Cienfuegos”, para llevar a cabo la reparación de los compresores teniendo en cuenta los valores normados para el retiro de los elementos fundamentales.

Objetivos específicos:

Establecer una metodología para la reparación de los compresores recíprocos con el fin de poder realizar las tareas y actividades inherentes al servicio.

Considerar los valores límites a partir de los cuales se deben retirar partes y piezas del compresor para realizarle su reparación.

Capacitar e instruir al personal de nuevo ingreso al taller central, personal de mantenimiento (terceros) o a estudiantes que realizan prácticas de estudio, con una noción general de donde comenzará a laborar.

Alcance:

Aplicarse en la Refinería “Camilo Cienfuegos” en la dirección de mantenimiento como guía para el entendimiento del ciclo a realizar para la reparación en la sección 700, compresores recíprocos y es aplicable a todo el personal de nuevo ingreso al taller central, personal de mantenimiento (terceros) y estudiantes en práctica de estudio la cual abarca todo los trabajos que se realizan en el taller central y fuera ejecutados por este, así como todas las áreas involucradas en el proceso de fabricación y/o reparación de piezas.

Criterios de selección:

La Planta de Reformación Catalítica (Sección 200) es imprescindible en la obtención de catalizado con un índice de octano no inferior a 95 que se emplea como componente de la gasolina de alto octanaje. Esta sección cuenta con dos bloques: bloque de hidrofinación, donde ocurre la refinación de la materia prima con hidrógeno y el bloque de reformación catalítica, donde se aumenta el octanaje de dicha fracción para obtener un reformado estable (gasolina). En todo este proceso es necesario el uso de los compresores para el suministro del hidrógeno que se emplea en dicha operación, es por eso que se tomó en consideración estos compresores.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se realiza una exposición de aspectos generales que se abordan en la bibliografía consultada sobre la temática y documentos pertenecientes al área, también se hace una valoración de la situación actual del mantenimiento aplicado a los compresores.

Para el empleo en distintas funciones se hace necesaria en las Industrias la utilización de distintos tipos de compresores clasificándose según el indicio constructivo, los compresores volumétricos se subdividen en dos grupos:

Compresores de desplazamiento positivo

Compresores de desplazamiento no positivo

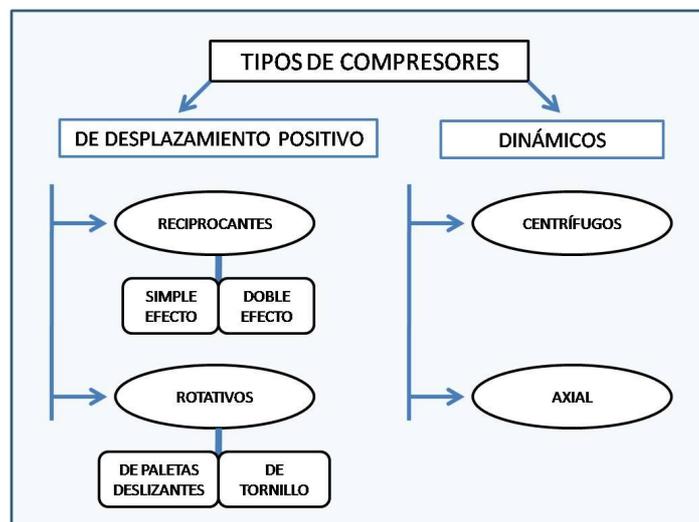


Figura 1.1: Tipologías de compresores empleados en las industrias

Este trabajo se basa en los compresores reciprocantes utilizados en la Refinería de Cienfuegos para impulsar el hidrógeno según se muestra en la figura 1.1.

1.1 Generalidades sobre los compresores reciprocantes

La cámara de compresión está constituida por un cilindro de sección circular, con una "tapa" fija (cabeza o culata) y otra móvil (pistón) con válvulas de admisión y escape permiten el acceso del gas a comprimir y la salida del gas comprimido. Un motor hace girar un cigüeñal o excéntrica. A través de una biela, el pistón adquiere

un movimiento alternativo entre las dos posiciones extremas, de velocidad nula, llamadas punto muerto superior (PMS) la más alejada del cigüeñal y punto muerto inferior (PMI).

Un diseño alternativo es el de los cilindros de doble efecto. En éstos hay cámaras de Compresión en ambos lados del pistón. Se realiza la compresión del gas tanto en el desplazamiento en un sentido como en el otro (no se trata de la misma porción de gas sino que ambas cámaras operan en paralelo). En este caso la biela está unida a un vástago cuyo movimiento es alternativo pero siempre axial; se posibilita así el cierre con la adecuada estanqueidad de la cámara posterior (la del lado del PMI). El pasaje del vástago a través de la tapa posterior se hace estanco mediante un sistema de sellado (por ejemplo: empaquetadura y prensaestopas). La presencia del vástago hace que el volumen desplazado por el pistón en una de las cámaras sea algo menor que en la otra.

Cuando se realiza un mantenimiento general o por razones que la recirculación del hidrógeno no se esté llevando a cabo, entonces comienza la alimentación de los compresores recíprocos de gas proveniente de los recipientes acumuladores de hidrógeno fresco que son reservas para estos casos, así como usos para mantener la cantidad de flujo en el circuito si faltara la cantidad requerida. Cuando se mantienen las plantas funcionando correctamente entonces se aplica la recirculación del reformador del hidrógeno fresco a las plantas.

La refinería cienfueguera posee un parque de 9 compresores recíprocos, Figura 1.2. Los compresores balanceados poseen la misma área en ambas cámaras del cilindro neumático, con ayuda de un vástago con un pistón insertado en el centro del mismo para garantizar los requisitos exigidos. Los no balanceados poseen un vástago con un pistón en un extremo, donde existe una diferencia de área en las cámaras.

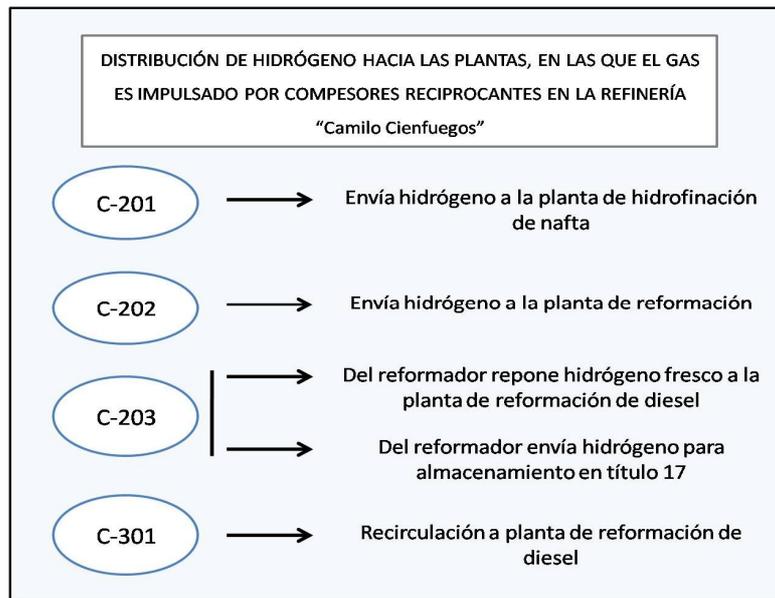


Figura 1.2: Parque de compresores en la Refinería "Camilo Cienfuegos"

Los compresores reciprocantes se identifican en: simple etapa, múltiples etapas y balanceado. Se describen las partes más importantes y se determinan por su operación segura y confiable demanda que sean correctamente lubricados, su lubricación comprende tanto cilindros como cojinetes del cigüeñal.

Los compresores reciprocantes tienen diferentes aplicaciones tanto en la industria petrolera como petroquímica, además se requiere su utilización en la refrigeración doméstica, comercial, transportada, o aire acondicionado. La mayoría de los compresores se analizan usando la ley de los gases ideales y una suposición de que hay un calor específico constante y poseen ventajas y desventajas que deben tomar en cuenta al momento de su selección.

Un compresor es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tal como lo son los gases y los vapores. Esto se realiza a través de un intercambio de energía entre la máquina y el fluido en el cual el trabajo ejercido por el compresor es transferido a la sustancia que pasa por él convirtiéndose en energía de flujo, aumentando su presión y energía cinética impulsándola a fluir.

Al igual que las bombas, los compresores también desplazan fluidos, pero a diferencia de las primeras que son máquinas hidráulicas, éstos son máquinas térmicas, ya que su fluido de trabajo es compresible, sufre un cambio apreciable de densidad y, generalmente, también de temperatura; a diferencia de los ventiladores y los sopladores, los cuales impulsan fluidos compresibles, pero no aumentan su presión, densidad o temperatura de manera considerable.

Para una mejor comprensión, analicemos la compresión de un gas. Imaginemos que en un cilindro tenemos un volumen V de un gas ideal y está "tapado" por un pistón que es capaz de deslizarse verticalmente sin fricción. En un principio este sistema se encuentra en equilibrio con el exterior / presión que ejerce el gas sobre las paredes del cilindro y sobre el pistón (que es la misma en todas las direcciones) p_{int} es igual a la presión que ejerce el peso del pistón sobre el gas p_{ext} , y más ninguna otra fuerza obra sobre nuestro sistema, (ver figura 1.3).

Los compresores lubricados son aquellos que la zona de trabajo se encuentra lubricada con un agua o aceite, lo que garantiza menor fricción en los elementos en contacto con la zona de trabajo y por tanto menor desgaste de los mismos, siendo una ventaja respecto a los no lubricados; aunque el gasto de lubricantes es tan elevado que se considera un problema.

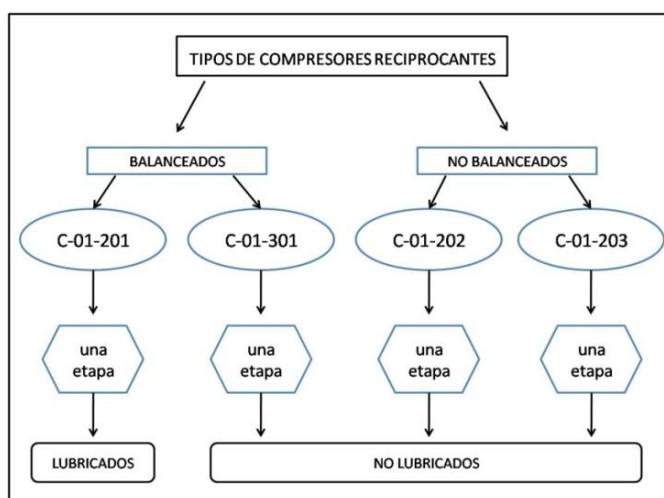


Figura 1.3: Tipologías de compresores existentes en la Refinería de Cienfuegos, según la descripción que precede la figura

1.2 Análisis del diseño de los compresores

Funcionamiento de los compresores reciprocantes

Los compresores reciprocantes son una máquina accionada por un motor eléctrico que admite gas, lo comprime y lo descarga a una mayor presión trabajando en un proceso de cuatro etapas, que se dan en una vuelta del cigüeñal, es decir en 360 grados, las cuales son compresión, descarga, expansión y succión. Ahora imaginemos que repentinamente aumentamos la presión externa a p'_{ext} y como la presión que ejerce el gas sobre el pistón es $p_{int} < p'_{ext}$ el equilibrio se romperá y el cilindro deslizará hacia abajo ejerciendo un trabajo $W = \text{fuerza} \cdot \text{desplazamiento} = p'_{ext} \Delta V$. Esta energía, por la primera ley de la termodinámica, se convertirá instantáneamente en un incremento de energía interna del gas en el recipiente, y es así como el gas absorberá el trabajo del desplazamiento pistón, lo que aumenta su presión, densidad y temperatura de manera considerable ya que se realiza una compresión isotérmica reversible la cual aclararemos tomando para ello los gases ideales. Esta forma de compresión es una secuencia de infinitas etapas, o estados, de equilibrio que se conoce como movimiento cuasi-estático, en los que siempre se cumple que la presión que ejerce el gas sobre las paredes del recipiente es igual a la presión que ejerce el pistón sobre el gas $p_{ext} = p_{int} = nRT/V$.

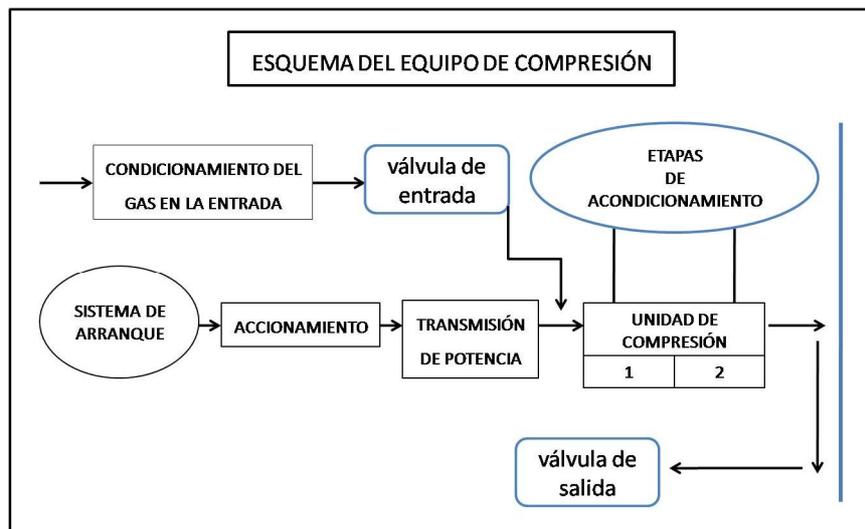


Figura 1.4: Esquema del equipo de compresión

El funcionamiento básico interno de este tipo de compresores en el ciclo de trabajo del compresor se divide en cuatro etapas:

Etapas de admisión del pistón: durante esta etapa retrocede provocando una depresión en la interior del cilindro que es compensada por la entrada de gas fresco a través de la línea de admisión. Justo antes de llegar al punto inferior de la carrera la válvula de admisión se cerrará, volviendo al inicio con lo que comienza un nuevo ciclo.

Etapas de expansión: durante esta etapa tanto la válvula de descarga como la de entrada permanecen cerradas. El pistón comienza la carrera del gas contenido dentro del cilindro sufre un aumento de volumen con lo que la presión interior del sistema se reduce.

Etapas de compresión: el cilindro se encuentra lleno de gas y el pistón actúa sobre la masa de gas reduciendo su volumen original con un aumento paralelo de la presión del mismo. Las válvulas del cilindro permanecen cerradas.

Etapas de expulsión: justo antes de completar la carrera de compresión la válvula de descarga se abre. El gas comprimido sale del cilindro, debido a su propia presión, a través de la válvula de descarga. Antes de alcanzar el final de carrera la válvula de descarga se cierra dejando el espacio libre del cilindro lleno de gas a la presión de descarga.

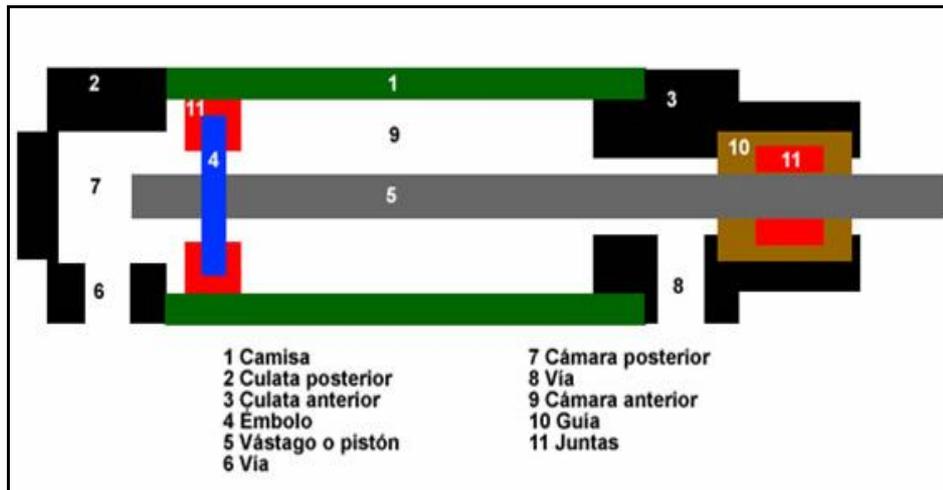


Figura 1.5: Partes que conforman un cilindro de doble efecto del compresor recíprocante

La posición 1: Este es el inicio del stroke o carrera de compresión. El cilindro está lleno de gas a la presión de succión. El pistón empieza a desplazarse para llegar a la posición 2, el gas es comprimido por éste desplazamiento del pistón (ver figura 1.5).

La posición 2: En este punto la presión del cilindro supera en un diferencial a la presión existente en la tubería de descarga. Este diferencial origina la apertura de la válvula de la descarga. La descarga o transferencia de gas continúa hacia la tubería (ver figura.1.5). En esta posición, el pistón completó toda la descarga o transferencia del gas desde el cilindro de compresión hasta la tubería o línea de descarga. En este instante termina el stroke o carrera de descarga.

El proceso de compresión puede verificarse en una sola etapa termodinámica (compresión de una fase) o dividirse en varias etapas con enfriamiento intermedio del gas (compresión de varias etapas o multigradual). La compresión multigradual requiere una máquina más costosa que la compresión uní fase, pero se utiliza con más frecuencia por varias razones: menor consumo de energía, menor elevación de temperatura del gas dentro del cilindro y menor diámetro del cilindro. Obsérvese una máquina simple de una sola etapa (ver figura 1.6)

En las máquinas de etapas múltiples, hay enfriadores intermedios entre cada una de estas. Esos intercambiadores de calor eliminan el calor de la compresión del gas y reducen su temperatura a aproximadamente la que existe a la entrada del compresor. Ese enfriamiento reduce el volumen de gas que va a los cilindros a alta presión, hace disminuir la energía necesaria para la compresión y, a presiones elevadas, mantiene la temperatura dentro de límites de operación seguros.

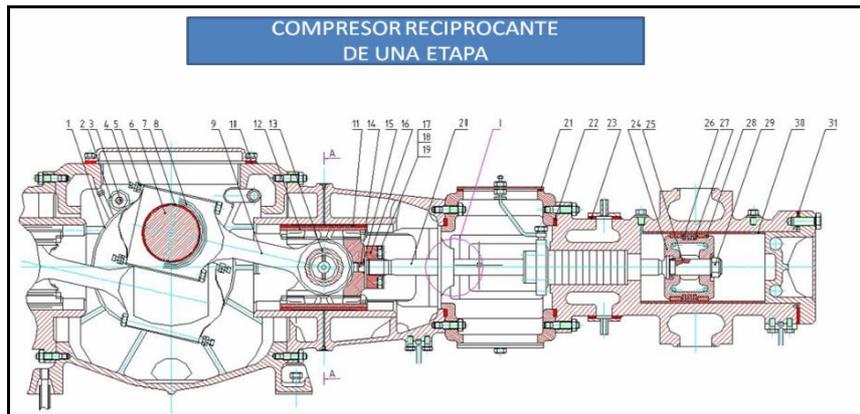


Figura 1. 6: Compresor horizontal de doble efecto y una etapa para impulsión de hidrógeno, utilizado en la Refinería de Cienfuegos

Los compresores con cilindros horizontales (figura 1.7) son los que más se utilizan, por su capacidad de acceso. Sin embargo, se construyen también máquinas con cilindros verticales y otras disposiciones, tales como las de ángulo recto (uno horizontal y el otro vertical) y en ángulo en V. Los compresores alternativos, pueden ser del tipo lubricado o sin lubricar.

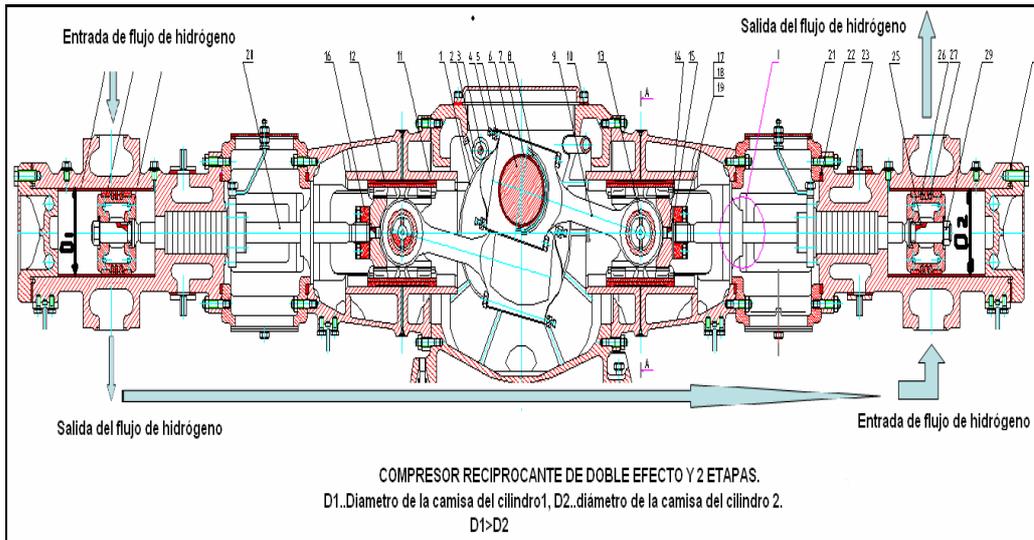


Figura1.7: Compresor horizontal de doble efecto y de 2 etapas



Figura 1.8: Cabezal con cavidades para la línea de succión, descarga y 2 válvulas de succión y 2 de descarga

1.3 Descripción de la instalación

1.3.1 Descripción del proceso:

La Planta de Reformación Catalítica, (Sección 200), tiene como objetivo principal la obtención de catalizado debutanizado con el índice de octano no inferior a 95, utilizado como componente de la gasolina de alto octanaje.

En la sección 200, la materia prima es fracción 70-180 °C proveniente de la sección 100 o del patio de tanque intermedios (TK-1130/31/32/33), a través de la estación de bombeo,

La Planta está conformada por dos (2) bloques:

El bloque de hidrofinación: En donde ocurre la refinación preliminar con hidrógeno de materia prima para eliminar compuestos nitrosos y sulfurosos. En este bloque tienen lugar los siguientes procesos:

La refinación con hidrógeno de la materia prima con circulación de gas hidrogenado.

La estabilización del producto hidrogenado.

La regeneración a vapor-aire del catalizador de la refinación con hidrógeno.

Bloque de Reformación: En donde ocurre la reformación catalítica de las fracciones de gasolina en presencia del catalizador poli metálico. En este bloque se desarrollan los siguientes procesos:

- La reformación catalítica.
- La estabilización del catalizado.
- La conducción de los compuestos orgánicos de cloro y azufre al sistema de reformación.
- La humectación y la deshumectación del gas circulante.
- La regeneración por la mezcla gas-aire del catalizador de reformación con circulación de la solución alcalina en la etapa de oxiclорación y calcinación oxidante.
- La regeneración de zeolitas.

1.3.2 Operación normal:

A continuación se hará una descripción de la operación normal de la sección 200 (Reformación Catalítica), de la Planta Combinada de la Refinería "Camilo

Cienfuegos”, incluyendo los compresores (sección 700) y hornos (sección 600) que operan en este proceso.

En la sección 200, se procesará fracción 70-180 °C proveniente de la sección 100 o del patio de Tanque Intermedios Título 37 (TK-37-1130/31/32/33), a través de la estación de bombeo.

La sección cuenta con los siguientes bloques:

Bloque de hidrofinación, en donde existe la refinación de la materia prima con Hidrógeno.

Reformación catalítica, en donde se aumenta el octanaje de dicha fracción, para obtener un reformado estable (gasolina).

La materia prima que es la fracción de gasolina de destilación directa a temperaturas de 70-180 °C, viene de la sección 100 o del área de tanques al D-01-201, desde donde es conducida por la bomba P-01-201/R para mezclarse con el gas hidrogenado circulante suministrado por el compresor de pistón C-01-201/A y C-01-201/B. El tambor de materia prima D-201, se encuentra presurizado a 5 Kgf/cm², con gas de estabilización que viene (línea 218/2) del tambor de reflujo de T-202 (D-203). Dicha presión es regulada por el control de presión PIC-002. Este control actúa en la opción de rango compartido sobre la válvula de control PV-002-1 (presurización), ubicada en la línea 218/2, que está en la entrada del mismo y sobre la válvula de control PV-002-2 (despresurización), ubicada a la salida de dicho tambor hacia el sistema de gas combustible.

La bomba de inyección de materia prima (P-201/R), succiona la fracción 70-180 °C desde el tambor D-201, por la línea 122/3, y la descarga (línea 122/6) para mezclarse con gas hidrogenado circulante, suministrado (línea 212/2) por el compresor de pistón (C-201/B), a un flujo entre 17450 a 21150 m³n/h (normal), a una temperatura de 70 °C y una presión de 39 Kgf/cm², por la línea 122/6, para ir al nudo mezcla. Esta mezcla circula por el espacio ínter tubular del tren de intercambiadores de calor 1, 2,3 E-01-201 donde se calienta hasta a 250-310°C,

con el flujo de retorno de la mezcla producto-gas del reactor R-01-201. En el reactor R-01-201, a temperatura de 300-400 °C y presión de 35 a 40 Kgf./cm² y en presencia del catalizador de aluminio, cobalto y molibdeno, tiene lugar la hidrogenación de los compuestos sulfurosos y nitrosos, con desprendimiento del hidrógeno sulfurado, amoníaco y agua, así como también el hidrocraqueo parcial con desprendimiento del gas hidrocarbonado. Del reactor la mezcla de gas y producto se dirige al espacio tubular en los intercambiadores de calor 1, 2, 3 E-01-201, la que luego se enfría en los enfriadores A-01-203 y E-01-207 hasta una temperatura de 40 a 45°C que llega al separador B-01-201. En el separador B-01-201 tiene lugar la separación del producto hidrogenado inestable del gas hidrogenado en circulación, que retorna a través del B-01-202 en la entrada del compresor C-01-201/A y C-01-201/B, donde se comprime y se envía al triángulo de mezclado donde se mezcla con la materia prima de la planta. El gas hidrogenado que alimenta el sistema de refinación con hidrógeno viene del bloque de Reformación, que es suministrado por el compresor C-01-203/A y C-01-203/B, a través del enfriador E-01-210 y el separador B-01-206 a la tubería de mezcla de gas y producto ante el enfriador por agua E-01-207. El exceso del gas hidrogenado proveniente de la reformación se conduce por el compresor C-01-203/A y C-01-203/B. Para impedir que el líquido penetre en el compresor, se instaló el separador B-01-203. El nivel en el compresor se mantiene por el regulador LIC-18, que descarga periódicamente el producto inestable al D-01-201. Por el esquema tecnológico del proceso está prevista también la posibilidad de aumentar la concentración del gas hidrogenado sobrante desprendido durante el proceso de reformación. Con este fin, el gas sobrante de reformación, después de comprimirse por el compresor C-01-203/A y C-01-203/B, se mezcla con la materia prima de la planta, la fracción 70-180°C, conducida por las bombas P-01-201/R.

La mezcla de gas y gasolina enfriada en el E-01-210 viene para separarse al separador B-01-206, de donde el gas hidrogenado se dirige al bloque de refinación preliminar con hidrógeno, mientras la gasolina se mezcla con el gas hidrogenado suministrado por los compresores C-01-201/A y C-01-201/B. El producto inestable

viene del separador B-01-201, después de calentarse en el intercambiador de calor E-01-202 a 160-165°C a la torre T-01-201. El producto hidrogenado estable, del fondo de la torre T-01-201 circula por el intercambiador E-01-202 donde comunica su calor al producto hidrogenado inestable y llega a la entrada de la bomba P-01-204/R. El producto hidrogenado estable se dirige por la bomba P-01-204/R para mezclarse con el gas circulante del proceso de reformación suministrado por los compresores C-01-202 A, B y C. La mezcla de gas y materia prima calentada en los intercambiadores de calor E-01-203 1, 2 y 3 por el flujo de mezcla gas y producto desde el reactor R-01-04, entra en el horno F-01-203/1 para calentarse hasta la temperatura de reacción y entrar a los reactores R-01-02, R-01-03, R-01-04. La mezcla de gas y producto se dirige del reactor R-01-04 a los intercambiadores de calor E-01-203 1, 2 y 3 para calentar la mezcla de gas y materia prima del proceso de reformación, luego se enfría consecutivamente en los enfriadores por aire 1,2 A-01-204, en el intercambiador por agua E-01-208 y con la temperatura de 40 a 45°C, llega al separador B-01-204, donde la mezcla se divide en gas hidrogenado y producto catalizado inestable. El gas hidrogenado se dirige del separador B-01-204, si fuera necesario, a la torre de adsorción 1,2 T-01-203 que operan alternativamente para deshumectarse por zeolita, o bien, evitándolas, llegan a la entrada de los compresores A y B C-01-202 y C-01-202/C a través del separador B-01-205. El gas hidrogenado impulsado por los compresores A y B C-01-202 y C-01-202/C llega al separador B-01-210 y luego al sistema de reformación para mezclarse con el producto hidrogenado estable. La cantidad sobrante de gas hidrogenado desprendido en el proceso de reformación es conducida a la entrada del compresor de refuerzo C-01-203/A y C-01-203/B. La fase líquida, el producto catalizado inestable, se conduce por la bomba P-01-205/R. del separador B-01-204 a la torre de estabilización T-01-202 a través del intercambiador de calor E-01-204. El producto catalizado estable pasa de la parte inferior de la torre de estabilización por el espacio tubular del intercambiador E-01-204, donde entrega su calor al producto catalizado inestable, se enfría en los

enfriadores A-01-205 y E-01-209 y se evacua de la planta como componente de la gasolina para los tanques.

Tabla 1.1: Datos del compresor objeto de estudio C-01-203

COMPRESOR	4M16-22,4/23-64T
CARACTERÍSTICAS	
Tipo de compresor	Horizontal, de dos filas con cilindros opuestos
Medio de trabajo	Gas rico en H2
Presión de succión Mpa (Kgf / cm2) abs.	1,97(22.9)
Temperatura de succión OK (OC)	313 (40)
Capacidad de la succión (m3/seg. (m3/ min.))	0,941(23,48)
Temperatura de descarga OK (OC)	355 (81)
Presión en la descarga MPa (Kgf / cm2) abs.	6.35(63.5)
Consumo de agua de enfriamiento M3/S (M3/h)	0,004 (14,32)
Marca de aceite para los mecanismos de movimiento	Circulación 100
Cantidad de aceite cargado al Bastidor m3 (Its)	0,63(630)

Potencia KW del Estator	1159
Modelo del motor eléctrico	CDKP2-18-56-18TB2
Potencia del motor eléctrico KW	1600
Frecuencia de corriente Hz	60
Voltaje	6000
Revoluciones por minutos Rsd / seg. (RPM)	41,6(400)

1.4 Análisis del tipo de fluido. Sus características

Gas hidrogenado; (Composición en Volumen %) Hidrógeno (H₂) 85.72 %; C1 - 2.5 %; C2 - 5.01 %; C3 - 4.53 %; IC4 - 0.88 %; NC4 - 1.16 %; IC5 0.2 %; %; Concentración (ppm). HCL - 10 ppm; H2S 1 ppm.

Peso medio molecular $5.6 \div 8.96$ g/mol

En donde ocurre la refinación preliminar con hidrógeno de materia prima para eliminar compuestos nitrosos y sulfurosos.

1.5 Estudio de elementos del compresor recíprocante

1.5.1 Caracterización de la situación de los elementos críticos de los compresores recíprocantes.

En el estudio realizado se obtuvo evidencia en fotos donde se pueden observar el desgaste, deterioro y corrosión en las diferentes piezas que componen el compresor recíprocante. Las mismas se pueden ver en anexo en las carpetas que se mencionan a continuación.

- Compresores 700
- COMPRESORES C-203-B, C-202-A Y C-201-A 1-3-2013

- FOTOS COMPRESOR C-202-C AVERÍA 16-2-2012
- REPARACIONES DE LOS C-202-C Y C-203-B 18-7-2012
- COMPRESORES C-202-B Y C-202-C 17-12-2012
- FOTOS C-301-B 12-04-2012
- FOTOS COMPRESORES REP. MED. C-202-A Y C-203-A 2-11-2012

Pasos a seguir en metodología.

Cuando existe una solicitud de avería o imprevisto del jefe de planta a despacho de la dirección de mantenimiento.

1. Análisis de la solicitud por el grupo de inspección (revisión técnica) y decisión (si o no) puede ejecutarse de inmediato.
2. Entrega del resultado de revisión del grupo de impresión sobre decisión de la solicitud al grupo de planificación.
3. Análisis del resultado:
4. Respuesta (negativa) se archiva la solicitud hasta el momento adecuado en programa MP2 (llenar observación).
5. Respuesta positiva se archiva en programa MP2 y se convierte en una orden de trabajo (OT) se adjunta con recomendación de inspección técnica y plano de diseño, lo que es enviada al registro de ordenes de trabajo, al área técnica de planificación.
6. Enviar documentación al taller para la recuperación o fabricación de piezas.
7. Montaje de pieza en taller de la planta.
8. Ensamble del compresor en área (sección 700) de compresor recíprocante de hidrogeno (H2).
9. Prueba y ensayo.
10. Puesta en marcha y explotación del equipo.

11. Introducción de datos en el programa MP2 por el planificador y llenar historial del equipo.

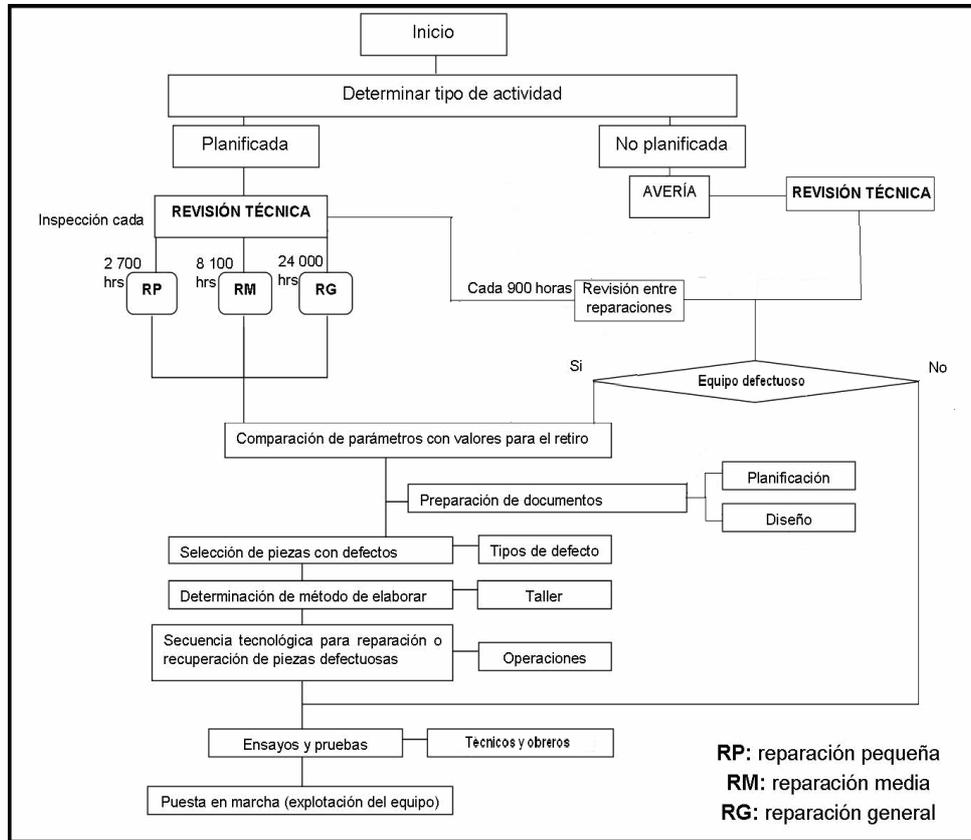


Figura 1.9: Metodología para la realización de reparaciones a compresores

Actividad planificada

1. El planificador realiza el tipo de actividad, según datos del historial de cada equipo existente en el programa MP2.
2. Revisión técnica.
3. Se emite recomendación y planos de diseño si se necesita fabricación o recuperación de pieza.
4. Envío de documentación taller para recuperación fabricación de pieza.
5. Montaje de conjunto de piezas en talleres de la planta.

6. Ensamble de compresor recíprocante de (H₂O) en la planta en área sección 700.
7. Prueba y ensayo.
8. Puesta en marcha y explotación del equipo.

CAPÍTULO II: ANÁLISIS Y MODELACIÓN DE LOS PROBLEMAS DE LOS COMPRESORES RECIPROCANTES

2.1 Análisis de causas de averías producidas en compresor de hidrógeno

La aparición de averías y su detección constituyen procesos relevantes para garantizar el funcionamiento de los compresores reciprocantes. Diferentes estudios prácticos derivados de análisis de roturas permiten considerar como principales causas de una avería:

1. El medio agresivo producto del hidrógeno dentro de las cámaras del cilindro neumático prediciendo corrosión de la camisa;
2. Fricción constante de los elementos dentro del cilindro afectando la superficie por desgaste de ambos y deterioro de las empaquetaduras de material de teflón grafitado, incluyendo guías y sellos de compresión;
3. Ralladuras de la camisa;
4. Ralladuras y corrosión de vástago en superficie de trabajo;
5. Corrosión y desgaste de las válvulas de succión y descarga;
6. Desgaste y desprendimiento del material babbit en tejas de cigüeñal, bielas y en los apoyos del motor;
7. Desgaste, corrosión y desgarraduras del babbit del pistón;
8. Corrosión y desgaste de los elementos del bloque de sello;
9. Puntos de apoyo del cigüeñal;
10. Deterioro de la corredera del patín y bulones;
11. Desgaste del patín y deterioro de sellos en el bloque de sello;
12. Decadencia de empaquetaduras en válvulas de control;
13. Avería de bomba auxiliar.

Las piezas en estado más crítico durante el funcionamiento del compresor recíprocante se ilustran en la figura siguiente:

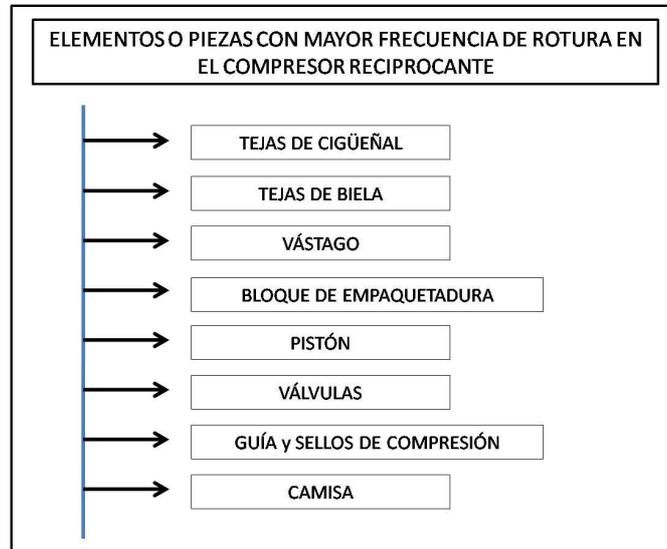


Figura 2.1: Relación de piezas con mayor frecuencia de rotura durante el funcionamiento de un compresor recíprocante

Las tejas de cigüeñal son los elementos que facilitan un deslizamiento del cigüeñal sobre los puntos de apoyo de este, lo cual el babbitt que porta la teja permite este contacto autolubricante y descansar las cargas sobre los puntos de apoyo, disminuyendo el desgaste en el contacto entre ambas superficies.

El vástago permite transmitir los esfuerzos del patín al pistón del cilindro neumático para succionar e impulsar el hidrógeno desde la línea de aspiración a la de descarga para las plantas.

Los anillos guías permiten el deslizamiento del pistón sobre la camisa del cilindro.

Los anillos de compresión logran realizar el sellado de ambas cámaras de trabajo, logrando el impulso adecuado del hidrógeno.

La camisa del cilindro evacua el hidrógeno y permite el deslizamiento del pistón en su interior para impulsar dicho gas.

El pistón permite succionar e impulsar el hidrógeno de las cámaras hacia su destino. El pistón es una de las partes más simples, pero tiene la función principal entre todas las partes del compresor, que es trasladar la energía desde el cigüeñal hacia el gas que se encuentra en los cilindros.

La válvula de succión permite pasar el flujo hacia el interior de la camisa y no dejar retroceder el mismo después de dejar de succionar.

La válvula de descarga admite el paso del flujo hacia la línea de descarga y no dejar retroceder el mismo después de dejar de impulsar el hidrógeno.

El cilindro neumático transmite el movimiento rectilíneo alternativo que recibe de la cruceta al pistón. Es una parte crítica del compresor y deben ser diseñados para una máxima seguridad y larga vida en función de la atmósfera donde va a trabajar, el esfuerzo al que es sometido y el desgaste producido por las empaquetaduras.

El cigüeñal se encuentra situado dentro de la montura y es el elemento que transmite la potencia del motor hacia las bielas. El cigüeñal no tiene que tener grietas ni hendiduras de clase alguna. En otro caso deberá sustituirse por otro nuevo.

Piezas de repuestos de compresores en estado más crítico: sus defectos

Válvulas de succión y descarga de los compresores reciprocantes para hidrógeno: Válvulas de succión y descargas para usos en refinería de petróleo en compresores reciprocantes de simple etapa como su nombre lo identifica tienen función de cerrar después de aspirar o descargar el fluido en la línea. Las mismas están construidas de materiales inoxidables para evitar el deterioro rápido al contacto con el hidrógeno, fluido expulsado por los compresores. Ver figura 2.2



Figura 2.2: Válvulas de descarga

Frecuentemente sufren deterioro (según se muestra en la figura 2.3) al entrar en contacto con el hidrógeno; por su uso continuo y prolongado se provocan desgastes y deterioro superficial en las zonas de contacto o trabajo.



Figura 2.3: Válvulas deterioradas por el contacto con el hidrógeno

La solución para la reparación actual es la rectificación en las superficies en contacto de trabajo a limpiar las mismas y esto hasta un límite para su uso según fabricante. Estas pueden ser compradas en el mercado internacional, aunque se realizan estudios para lograr su fabricación en el país, como un medio de racionalización.

Vástagos de compresores alternativos o reciprocantes: Estos elementos transmiten el movimiento rectilíneo alternativo que reciben de las crucetas al pistón. Son una parte crítica del compresor y deben ser diseñados para una máxima seguridad y larga vida en función de la atmósfera donde va a trabajar, el esfuerzo a que va a ser sometido y el desgaste producido por la empaquetadura graficada.

El desgaste, las ralladuras y los golpes son muy frecuentes en estos, se producen generalmente por la fricción de empaquetaduras, inclusiones en el interior del cilindro, impurezas en el fluido, Ello implica la rectificación de la zona de trabajo como se muestra en la figura 2.4.

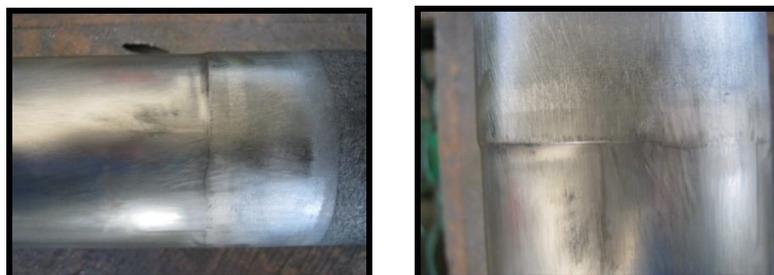


Figura 2.4: Muestra de vástagos deteriorados

En el vástago ocurre como en el interior del cilindro: el deterioro se produce por la acumulación de residuos materiales de las empaquetaduras de teflón grafitado.

Requisitos técnicos a garantizar en los vástagos de los compresores:

- El acabado de la superficie de vástago en toda la superficie de fricción no debe estar entre Ra 0, 2-0,4.
- La barra forjada para la fabricación del vástago es el material acero 40-45 GOST 1050-74.
- Particular atención se debe prestar a localización de los bordes (radios) y las roscas, no se admiten rebabas, han de eliminarse los cantos vivos.
- Después de maquinado el vástago, es necesario comprobar si hay defectos externos e internos utilizando líquido penetrante o defecto copia magnética, con posterior comprobación con ultrasonido.
- Tratar térmicamente la superficie con temple TB4. La dureza del vástago debe ser HRC 50 y el espesor de la capa endurecida de 1-2 mm
- Vástago de pistón de acero AISI 4140 utilizado con gases ácidos, deben ser objeto de mayor temple una dureza no mayor que Rockwell C22 (dureza del núcleo).
- Tolerancia típicas de la barra pulida 12.5 micrómetros (0,000005 pulgada)- (ovalidad–circularidad) y 25 micrómetros (0.001 pulgadas)- diámetro a lo largo de la longitud de los vástago (cilindricidad).
- Ovalidad y cilindricidad entre 0.02-0.05mm.

Empaquetaduras:

Las empaquetaduras están compuestas por anillos guías que garantizan el deslizamiento del pistón sobre la camisa y del vástago sobre el bloque de empaquetaduras, así como los sellos de estanqueidad y compresión a continuación se muestran algunos ejemplos de elementos deteriorados.



Figura 2.5: Muestra de empaquetaduras deterioradas

Pistón:

El pistón tiene como función comprimir el fluido en compresión, como tracción en el cilindro. Asimismo, presenta los alojamientos para colocar las guías de deslizamiento y los anillos de compresión. Este elemento sufre desgaste por el deslizamiento en el funcionamiento del cilindro.



Figura 2.6: Pistón desgastado por deslizamiento

Bloque de sello:

Está compuesto de varios elementos que soportan los sellos del vástago y las guías. Sufre desgaste por desplazamientos de muelles en su interior y de otras piezas.



Figura 2.7: Muestra de sello condegaste

BABBITT (metal antifricción):

Se emplea en tejas de la biela, apoyo de cigüeñal y del motor principal en compresores alternativos. El babbit es uno de los metales denominados de antifricción cuyas aleaciones principales son estaño, plomo, antimonio y cobre. Existen 2 tipos de metales babbit: el primero tiene base de estaño con más de un 50% de éste material y presenta buena adherencia sobre una base de hierro y tienen buena dureza en temperatura ambiente. El segundo tipo, tiene base de plomo y también posee más del 50% de éste material. Este tiene poca adherencia sobre la base de hierro y tiene menor dureza en temperatura ambiente, pero conforme se eleva su temperatura el descenso de sus propiedades físicas no es tan acentuado como el que tiene base de estaño.

El principio básico de las chumaceras o cojinetes recubiertos con el metal babbit es la existencia de dos superficies metálicas de diferente dureza sujetas a un movimiento deslizante bajo condiciones de carga y velocidad.



Figura 2.8: Defecto del metal babbit en chumacera del motor eléctrico

Cojinetes de metal antifricción:

El término metal antifricción (también metal Babbit o metal blanco) se usa para describir el material utilizado en los cojinetes donde la carga se transmite mediante partes no móviles, por deslizamiento, sin la ayuda de bolas o rodamientos.

Materiales y lubricación:

En general, el criterio para la utilización de un cojinete antifricción es conseguir la mínima fricción entre los dos componentes, combinado con la ausencia de problemas por gripado, por fallo mecánico o por distorsión y/o fatiga. Según la geometría del sistema, las condiciones de carga y velocidad, y la atmósfera de trabajo del equipo, deberemos escoger el tipo de metal blanco y la lubricación más adecuados.

Las aleaciones de metal Babbit:

Una aleación de metal blanco debe asegurar una baja fricción y capacidad para soportar la carga sin gripar, distorsionarse, fallar mecánicamente o sufrir corrosión. Las propiedades requeridas son las siguientes:

La aleación de metal antifricción debe tener bajo punto de fusión y buenas propiedades de fusión y colada, para que su composición permanezca sin modificaciones después de variaciones de temperatura, y no se oxide térmicamente. También debe adherirse fácilmente a su soporte de metal, y no debe haber una contracción destacable durante el enfriamiento, ni modificar sus propiedades o dimensiones por envejecimiento.

El metal debe presentar una estructura de dos fases, consistente en partículas duras en una matriz dúctil. Las partículas duras, evidentemente, dan dureza a la aleación, soportando la carga, mientras que la base dúctil aporta buenas propiedades de confortabilidad. Además, la matriz se desgasta de forma homogénea hasta un nivel ligeramente inferior a la fase más dura, permitiendo la formación de pequeños canales de irrigación para la lubricación.

Las variaciones de temperatura durante el servicio no deben producir desvíos significativos en la dureza del material o en la resistencia a la fatiga, ni en cualquiera de sus otras propiedades mecánicas.

La aleación debe presentar buena resistencia al desgaste en las condiciones de trabajo impuestas al cojinete. Cabe destacar que la resistencia al desgaste no es una propiedad determinada por un solo metal o varios metales, sino por el

conjunto de la aleación y por otros factores como la temperatura, el tipo de lubricante, la presencia de impurezas abrasivas en este, y la forma geométrica de la superficie.

Las aleaciones Babbit pueden ser de base de estaño o de plomo. Las primeras disipan mejor el calor, y las segundas tienen mejor resistencia a la corrosión por ácidos, soluciones amoniacales y otros productos químicos, aunque debido a su composición cada vez son menos utilizadas. Además, ambas contienen antimonio y cobre, que dan dureza a la aleación. El resto de elementos de aleación puede variar según el material utilizado, provocando variaciones en sus propiedades, pero todas las aleaciones antifricción conservan las propiedades comunes de elevada ductilidad, colabilidad y resistencia a la corrosión. Las composiciones químicas para estas aleaciones se rigen por la norma ASTM B23.

En resumen, la conformabilidad de las aleaciones Babbit permite a la carga repartirse de manera uniforme en toda la superficie del cojinete, y así establecer con más rapidez el régimen hidrodinámico necesario, pues tienen capacidad para adaptarse con gran exactitud a la superficie más dura con la que están en contacto.

El buen funcionamiento de un cojinete antifricción, según lo descrito anteriormente, depende en gran parte de las propiedades mecánicas de las aleaciones que lo forman, y de una buena lubricación, pero también es necesario considerar su proceso de fabricación.

- Las técnicas de fabricación de cojinetes son las siguientes, de mayor a menor calidad de antifricción:
- Centrifugado con refrigeración controlada.
- Soldadura manual.
- Proyección térmica.
- Colada estática.
- Aplicación de metal babbitt para la reparación de chumacera

➤ Método para lograr cojinetes centrifugados:

Los pasos a seguir para la fabricación de una capa de metal antifricción en un cojinete son los siguientes:

1. Limpieza del soporte del cojinete mediante mecanizado, tratamiento térmico o a la llama, para eliminar posibles restos de una capa de metal blanco anterior y para eliminar cualquier impureza que pueda estar presente en el soporte (pinturas, óxidos...). Una vez limpio, es necesaria una activación de la superficie para obtener la rugosidad necesaria para el proceso. La operación siguiente deberá efectuarse inmediatamente después de la limpieza.
2. Estañado del cojinete, para formar una capa de estaño uniforme en el soporte, asegurando la correcta adherencia. Para llevar a cabo dicha operación, se puede utilizar la técnica de inmersión en baño de estaño o estaño en polvo. Una vez finalizado el proceso de estañado, el soporte se enfría con agua. Según el material del que esté formado el soporte del cojinete y su geometría, puede haber variaciones de los productos o técnicas a utilizar.
3. Antifricción hadó del cojinete, una vez tenemos la superficie estañada correctamente. Se debe montar el cojinete en la máquina centrífuga y precalentar hasta la temperatura de fusión del estaño. Cuando el estaño haya adquirido un estado semiplástico se aporta el metal antifricción en el interior del cojinete, que debe estar centrifugando a la velocidad adecuada. Las revoluciones dependen del diámetro del mismo. Seguidamente se procede a enfriar exteriormente y de forma controlada el cojinete, controlando los parámetros según la masa a enfriar. Este proceso debe efectuarse desde el exterior para asegurar una buena unión del metal antifricción con el soporte, y asegurar la buena calidad de la capa.
4. Mecanizado en desbaste del cojinete.

5. Control de Calidad de la capa por ensayos no destructivos: líquidos penetrantes para control de poros o fisuras y ultrasonidos para asegurar la continuidad en la adherencia de la capa. Los ensayos nombrados se efectúan según normas ISO 4386-1 (US) e ISO 4386-3 (LP).
6. Mecanizado final del cojinete para alcanzar las medidas finales requeridas.
7. Control de Calidad final, siguiendo las normas expuestas en el punto 5. Así, una vez obtenida la capa de metal antifricción en el cojinete con la calidad exigida, se puede proceder a su instalación para que desempeñe su función.

Aplicaciones:

Las aplicaciones actuales en las que se requiere el uso de cojinetes antifricción son muy diversas, y se ha demostrado el buen funcionamiento de la tecnología implicada y de las técnicas de fabricación de este tipo de componentes. La funcionalidad de los cojinetes antifricción es amplísima, existiendo numerosas aplicaciones, materiales y geometrías. Los cojinetes de metal Babbit son adecuados para cargas grandes con velocidades pequeñas, para cargas pequeñas a grandes velocidades, para diámetros de eje elevados pero de longitud pequeña y viceversa, para distintos espesores de pared y diferentes requerimientos mecánicos, y todo con una gran variedad de materiales para aplicar según sea conveniente en cada caso.

El cigüeñal:

El cigüeñal raramente sufre problemas en el compresor por ser bastante robusto, como se puede observar en la foto trasmite gran potencia con ayuda de bielas hacia los pistones de los cilindros, donde en cada cámara se impulsa el gas de hidrógeno hacia la línea de salida para las plantas. Solo puede sufrir deformaciones o roturas cuando los cabezales no están balanceados en todo el compresor; ocasionalmente las tejas de apoyo sufren defectos.



Figura 2.9: Cigüeñal y otros componentes del compresor

Método de comprobación del cigüeñal:

Una vez realizada esta verificación se debe proceder a comprobar el desgaste de las muñequillas de biela y apoyos del cigüeñal, para lo cual se dispondrá de las medidas estándar de ellos brindadas por el fabricante. Este desgaste se verificará con un micrómetro (figura 2.10), haciendo unas cuantas medidas en cada muñequilla y en cada apoyo.

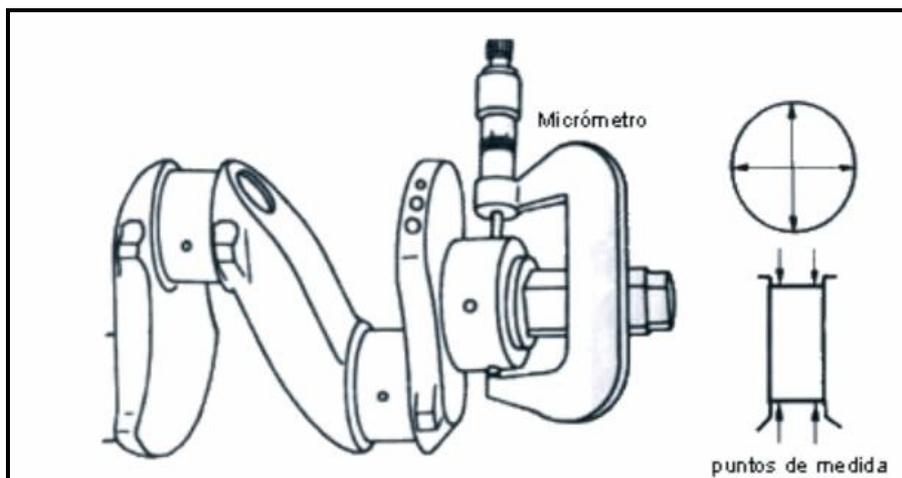


Figura 2.10: Empleo del micrómetro en la medición del cigüeñal

Para proceder al rectificado deberá tenerse en cuenta la menor de las lecturas obtenidas y rectificar todas las muñequillas a esa misma medida, pues si no, el cigüeñal gira desequilibrado. Con los apoyos del cigüeñal debe seguirse idéntico procedimiento aunque pueden rectificarse a distinta minoración que las muñequillas.

La operación de rectificado se realiza en máquinas especiales, donde se monta el cigüeñal bien centrado y se procede al rectificado con muelas abrasivas y luego a un pulimentado. Luego del rectificado deberá pasarse el control de alineación de los apoyos y muñequillas, para lo cual se colocara el cigüeñal sujeto por los extremos entre puntas y se usara un reloj comparador (figura 2.11).

La máxima tolerancia admisible es de 0,02 mm. Una vez efectuada esta verificación deberá controlarse el equilibrado del cigüeñal con el volante de inercia colocado en él.

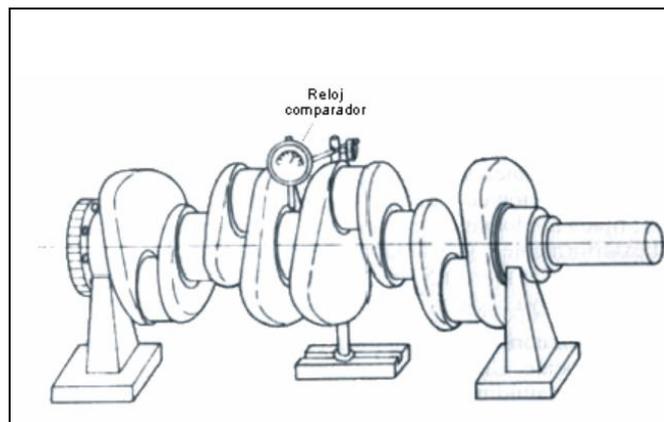


Figura 2.11: Empleo del reloj comparador en la medición del cigüeñal

Descripción de los trabajos a realizar en el mantenimiento de los compresores recíprocos:

Una revisión de los diferentes procedimientos utilizados por los especialistas, así como los encontrados en la bibliografía consultada para la reparación de los compresores, a partir de la visita a los diferentes departamentos, exponen las características del mantenimiento en la empresa con el objetivo de unificarlos en uno solo.

Camisa del cilindro:

Producto de los gases en el interior del cilindro, y todos los elementos que intervienen en la compresión se producen el desgaste, ralladuras y oxidación de la camisa en la zona de trabajo. Debe considerarse el chequeo de la superficie y las medidas según datos técnicos y en caso de no cumplir con los parámetros establecidos, recuperar o reparar la camisa según recomendaciones. En algunos casos rectificar el cabezal cumpliendo los requisitos técnicos y el segundo caso cilindrar el cabezal y fabricar camisa para realizar interferencia restableciendo dimensiones interiores de la misma mostrada en la figura 2.12



Figura 2.12: Muestra de una camisa deteriorada

2.1.1 Programa para la revisión y reparación de los compresores

La programación se divide en cuatro tipos de actividades las cuales son:

1. Revisión Técnica según RRF-DT-IT-14-24-01. Revisión técnica de compresores de émbolo
2. Reparación pequeña según RRF-DT-IT-14-24-02. Reparación pequeña de compresores de émbolo
3. Reparación media según RRF-DT-IT-14-24-03. Reparación mediana de compresores de émbolo
4. Reparación general según RRF-DT-IT-14-24-04. Reparación capital de compresores de émbolo

La revisión se realiza con el fin de comprobar el estado de los equipos, la eliminación de desperfectos pequeños y la determinación del volumen de trabajos sujetos a cumplimiento durante la reparación inmediata planificada.

Las revisiones entre las reparaciones planificadas de los equipos la realizan los inspectores por un plan, con la participación en caso de necesidad de los obreros que trabajan en estos equipos. En la tabla 2.1 se muestra la periodicidad de los mantenimientos establecidas para estos compresores.

Tabla 2.1: La periodicidad de los mantenimientos:

COMPRESOR	Tiempo entre reparaciones (en horas)				Estructura del ciclo MPP	Observaciones
	Revisión	Reparación Pequeña	Reparación Mediana	Reparación General		
4M 16	900	2700	8100	24300	6P, 2M, C	P-pequeña M-mediana C-general

Según las normas establecidas en la refinería de petróleo Camilo Cienfuegos (RRF-DT-IT-14-24-01) se establecen las actividades a realizar en la revisión técnica para compresores de émbolo

ACTIVIDADES A REALIZAR

1. Comprobar el estado técnico de las válvulas verificando niveles de ruido y temperaturas.
2. Revisar exteriormente el cimientado del compresor y del motor eléctrico

3. Comprobar el apriete de los pernos de anclaje, espárragos de los cilindros y sus tapas.
4. Verificar los parámetros operacionales y aire del motor principal y de la correcta lubricación de los patines.
5. Comprobación de los escapes por sellos barredores de aceite y de sellos de compresión (flujo metro).
6. Verificación funcionamiento del sistema de aceite: bomba, enfriadores, filtros.
7. Observar la calidad del aceite del cárter: presiones, temperaturas y flujos de gas, de aceite, de agua de enfriamiento.
8. Verificación funcionamiento del sistema de agua de enfriamiento: filtros de entrada, salideros.
9. Confirmación funcionamiento del sistema de aire: ventilador, enfriadores, válvula de barrido.

Según las normas establecidas en la refinería de petróleo Camilo Cienfuegos (RRF-DT-IT-14-24-02) se establecen las actividades a realizar en la reparación pequeña de compresores de émbolo

ACTIVIDADES A REALIZAR:

1. Comprobar el estado del lubricante (visualmente).
2. Realizar la limpieza de los filtros
3. Verificar la fijación de los cojinetes de biela, puntos de apoyos, cojinete y la fijación de los contrapesos del cigüeñal.
4. Confirmar la fijación de la chaveta del rotor del motor eléctrico.
5. Verificar el desgaste en los sellos de los vástagos en los compresores no lubricados.
6. Puntear el batimiento en los planos vertical y horizontal de los vástagos de cilindros colocados en posición horizontal.

7. Confrontar el esquema de señalización y bloqueo.
8. Verificar el desgaste de los aros de apoyo en los compresores no lubricados, comprobando la holgura entre pistón y el cilindro y su regulación
9. Cambiar los aros si es necesario.

Según las normas establecidas en la refinería de petróleo Camilo Cienfuegos (RRF-DT-IT-14-24-03) se establecen las actividades a realizar reparaciones medianas de compresores de émbolo

ACTIVIDADES A REALIZAR

1. Comprobar el estado del lubricante.
2. Realizar la limpieza de los filtros.
3. Verificar la fijación de los cojinetes de biela, puntos de apoyos y cojinete terminal, si se hace necesario regular su holgura.
4. Comprobar la fijación de los contrapesos del cigüeñal y la fijación de la chaveta del rotor del motor eléctrico.
5. Cotejar la fijación de los semicoupling del eje del motor y del cigüeñal del compresor.
6. Verificar el desgaste de los aros de apoyo en los compresores no lubricados, comprobando la holgura, regulación entre pistón y el cilindro.
7. Cambiar los aros si es necesario.
8. Identificar el desgaste en los sellos de los vástagos en los compresores no lubricados.
9. Verificar el batimiento en los planos vertical y horizontal de los vástagos de cilindros colocados en posición horizontal.
10. Verificar el esquema de señalización y bloqueo.
11. Comprueba la fijación del Vástago con el patín y de los tornillos de la biela.

Se debe verificar con métodos de control no destructivo, la existencia de grietas por fatigas en: bielas

- Bielas, pernos de bielas y sus tuercas.
- Cuerpos, bulón y zapata del patín.
- Los elementos de la unión del vástago con la cruceta, vástagos, tuercas y su unión con el pistón.
- Pistones.
- Los cilindros de acero con presión menor de 20 Mpa no menos de una vez cada tres años.

Según las normas establecidas en la refinería de petróleo Camilo Cienfuegos (RRF-DT-IT-14-24-04) se establecen las actividades a realizar en la reparación capital de compresores de émbolo

ACTIVIDADES A REALIZAR:

1. Abrir todas las válvulas de descarga. No se permite el trabajo de las mismas si:
2. Ha disminuido el área de paso del gas como resultado de suciedades más del 30% del paso nominal.
3. Falta de hermeticidad, rotura de platinas o grietas en el cuerpo de la válvula.
4. Limpiar el recipiente de aceite del cárter, lavar y revisar los filtros de la línea de succión de aceite.
5. Revisar o comprobar el estado de los espejos de los cilindros
6. Inspeccionar todos los pistones comprobando:
 - Holgura entre el espejo del cilindro y el pistón
 - Estado del apriete de la tuerca del pistón
 - Estado de la superficie del pistón

- Comprobar el estado de los aros guías del pistón. Se permite un desgaste de un 25 a un 30% del espesor nominal radial.
7. Revisar el estado de los aros del pistón. Sustituirlos si:
- Existe fractura o ralladura.
 - Si el desgaste del aro supera el 30% de su espesor nominal
8. Comprobar el estado de los sellos, se sustituyen las piezas si:
- El desgaste de las piezas de los elementos de sellado supera el 30% del espesor nominal radial del elemento.
 - Si existe fractura de alguna pieza del sello.
 - La magnitud de la deformación residual del muelle supera el 10% de su longitud nominal.
9. Comprobar el apriete de los tornillos que unen el cigüeñal con el motor.
10. Inspeccionar las piezas de la bomba de aceite.
11. Comprobar la situación técnica de las válvulas de seguridad:
12. Hermeticidad del cuerpo de la válvula.
13. Hermeticidad de los elementos de sellaje.
14. Magnitud del escape a través de los elementos de sellaje no debe ser mayor de 0.07 cm³ por segundo (250 cm³ por hora) por cada centímetro de diámetro del asiento.
15. Comprobar la presión de disparo de la válvula de seguridad.
16. Comprobar el cárter y las guías visualmente, si es necesario por método físico.
17. La existencia de grietas en las partes visibles del cárter y las guías no son admisibles.

18. Comprobar la fijación del cárter al cimiento, durante la comprobación del apriete de los pernos de anclaje se hace necesario apretar los mismos, esta operación se controla observando la posible deformación del cárter.
19. La deformación del cárter durante el apriete de los ternos no debe superar 0.05 mm por metro de longitud del cárter.
20. Comprobar el estado de los mecanismos de regulación de la capacidad de la máquina.
21. Llevar a cabo la inspección exterior de los aparatos y todas las comunicaciones, reapretar los elementos de fijación y las uniones embridadas preferencialmente en los lugares de paso de gas y vibraciones.

Después de realizar la inspección general se debe realizar otras acciones más detalladas en cada uno de los diferentes subsistemas.

ACTIVIDADES A REALIZAR

22. Realizar una revisión selectiva de las válvulas de cierre de control y regulación.
23. Llevar a cabo la inspección interior y lavado de enfriadores.
24. Llevar a cabo el control de la calidad del apriete de todas las uniones roscadas de responsabilidad (fijación de las guías al cárter de los cilindros, pernos de anclaje).
25. Desmontar las tapas de todos los puntos de apoyos e inspeccionar las tejas superior y los muñones del cigüeñal.
26. Si existen defectos en la superficie de las tejas (al menos en una) extraer e inspeccionar todas las tejas inferiores
27. Comprobar las holguras radiales en todos los rodamientos y la holgura axial en los rodamientos de fijación.
28. Para aumentar, disminuir la holgura radial es necesario montar nuevas tejas con el espesor necesario prohíbe en la superficie del babbit, raspar o rasquetear.

29. Las tejas de los rodamientos deben ser sustituidas cuando en la superficie hay presencia de agotamiento, incrustaciones de forma de surcos, secciones o área donde se note fundiciones del babbit o grietas. Los defectos escritos no deben superar el 15% de la superficie total.
30. Abrir la cabeza de la biela e inspeccionar las tejas, los pernos de bielas y sus tuercas. Revisar los muñones de la biela del cigüeñal. Medir las holguras radiales y axiales en los rodamientos de biela.
31. Observar la superficie de la biela y la cabeza. No se permite ningún tipo de grieta.
32. Realizar la inspección visual esmerada de los pernos de biela, especialmente en los lugares de concentración de tensiones, con ayuda de una lupa y el método de defecto copia por color.
33. Determinar la magnitud de la deformación residual de los pernos de biela, estando estos libres, si dicha magnitud no excede 0.002 del largo inicial, hay que sustituir.
34. En los formularios de cada compresor se encuentran los datos de pasaporte de los tornillos de biela y los resultados de cada comprobación.
35. Comprobar la magnitud de las quijadas con el cigüeñal.
36. Hacer las comprobaciones del cigüeñal en el lugar de las concentraciones de tensiones en las aristas, orificio de lubricación. No se permite grietas.
37. Comprobar el estado y el desgaste de todos los cilindros.

La magnitud del desgaste de la superficie de trabajo de los cilindros se determina midiendo con un micrómetro interior en el espejo del mismo, en el plano vertical y horizontal en tres secciones transversales (En el medio de los dos extremos).

La diferencia de medida realizada en las distintas secciones determinará la deformación barril, y la diferencia en las medidas de los diámetros en los planos horizontales y verticales dará la ovalidad.

La magnitud máxima permisible del desgaste de la superficie de los cilindros.

Si la magnitud del desgaste de la superficie de trabajo excede los límites permisibles hay que cambiar las camisas. Se permite la reparación aumentando el diámetro interior del espejo de la camisa mediante una rectificación y cambio de pistón en una magnitud no superior al 2% del diámetro nominal. En este caso, la disminución del espesor de la camisa no debe exceder el 20% del espesor nominal. El aumento de la carga del pistón sobre el vástago no debe superar el 10% de la carga inicial. La carga en toda la línea después de rectificado de la camisa debe estar dentro de los límites de carga nominal básica.

Al realizar el cambio de la camisa de los cilindros se hace la verificación de agrietamiento en los lugares de concentraciones de tensiones que se encuentran en la parte interior del fresado del cilindro

- Comprobar el desgaste de los canales de los anillos del pistón (Aros). Si se corrige defectos en los canales de los aros del pistón se permite el aumento en el ancho de la ranura en 1 mm
- Comprobar los pernos de bielas por el método de defecto copia color o magnética para determinar grietas por estar a tensión a la cabeza de los pernos y los valles de las roscas. Si existe grietas sustituir los pernos recomienda sustituir ambos pernos para garantizar que los nuevos haya sido construido de la misma partida del material.
- Comprobar las bielas por el método de defecto copia ultrasonido para determinar las grietas.
- Comprobar la no existencia de grietas en la pieza de la cruceta por cualquier método físico. Las piezas agrietadas se cambian
- Comprobar la magnitud del desgaste de los bulones de la cruceta y la calidad de la adherencia de los conos a los fresados de la cruceta.
- La magnitud del desgaste de los bulones (Ovalidad y Conicidad), se realiza por mediciones de su diámetro en distintos planos. La magnitud de la ovalidad y conicidad no debe superar la magnitud específica. La calidad de la adherencia de los conos de los pasadores de la cruceta a sus respectivos

fresado en la cruceta se comprueba con pintura. La marca de la pintura no debe ser no menor del 60% de toda la superficie.

- Comprobar los aprietes de las uniones roscadas del patín .Comprobar el estado de los cojinetes del patín. Verificar el estado de recubrimientos del babbitt en los patines de las crucetas y la disminución del espesor del babbitt como resultado del desgaste no debe ser superior al 50% del espesor inicial, comprobando y regulando las holguras entre los patines de las crucetas y las guías.
- Verificar el estado de los asientos de las válvulas en los cilindros Verificar el estado de los asientos de las válvulas en los cilindros Verificar la no existencia de grietas en la superficie de los cilindros por método físico comprar por método físico la no existencia de grietas en la superficie del vástago, especialmente en la rosca y escalones del vástagos aparece grietas el vástago se sustituye
- Llevar a cabo la inspección visual exterior de todas las comunicaciones interetápicas y de las válvulas.
- Revisar el estado de los cordones de soldadura y la hermeticidad de las uniones embriadas-El estado de las piezas de fijación de los aparatos y uniones.
- Las roturas de las roscas en la pieza de fijación no son permisibles, así como el estado de los apoyos, de los dispositivos de compensación y el estado de la línea de soplado
- La magnitud de las vibraciones de los aparatos y gasoductos. Para una frecuencia de 40Herts las oscilaciones no debe superar 0,2mm la amplitud de la oscilación.
- La medición debe realizarse durante el trabajo de la máquina, impeccionar el estado de las piezas de las válvulas de seguridad. Verificar el estado del sistema de lubricación.

- Revisión de la bomba de aceite y su motor, la limpieza del intercambiador por el lado agua, comprobación de su hermeticidad y las condiciones de los filtros.
- Cambio total del aceite y limpieza de la cámara de aceite y secciones de filtrado, así como la comprobación la hermeticidad del serpentín.
- Revisión de los puntos de engrase de las válvulas de regulación
- Limpieza del intercambiador del lado aceite

2.1.2 Verificaciones a realizar

Es necesario además realizar un grupo de verificaciones de las reparaciones y operaciones de mantenimiento realizadas.

Verifica la fijación:

- De los cojinetes de biela, puntos de apoyos y cojinete terminal, si se hace necesario regular su holgura.
- De los contrapesos del cigüeñal.
- De la chaveta del rotor del motor eléctrico.
- De los semicoupling del eje del motor y del cigüeñal del compresor.
- El desgaste de los aros de apoyo en los compresores no lubricados, comprobando la holgura entre pistón y el cilindro y su regulación. Cambiar los aros si es necesario.
- El desgaste en los sellos de los vástagos en los compresores no lubricados.
- El batimiento en los planos vertical y horizontal de los vástagos de cilindros colocados en posición horizontal.
- Comprueba la fijación del Vástago con el patín y de los tornillos de la biela.
- Realiza todas las actividades correspondientes a la inspección anterior.

- Determina el hundimiento del cimientado, la inclinación de bastidor y las tensiones de las tuberías tecnológicas.

En el bastidor verificar:

- La perpendicularidad del eje con el cigüeñal en los compresores horizontales y opuestos.
- La nivelación del bastidor.
- El desgaste de las guías de los patines.
- La existencia de grietas por fatiga por un método no destructivo

En los muñones y su desgaste verificar:

- La flexión.
- La nivelación de éste.
- La fijación del cigüeñal con el rotor del motor eléctrico.

En los cilindros verificar :

- Visualmente y con líquido, la existencia de grietas en los cilindros de hierro fundido.
- La existencia de grietas y de corrosión de la pared divisoria de las cavidades agua-gas, para cilindros metálicos.
- La prueba hidráulica de sus cavidades cada dos reparaciones capitales y después de cada maquinado del cilindro

En las bielas verifica:

- La deformación de las mismas.
- Superficies de cierre de las cabezas de las bielas.
- Superficie del patín con su guía.
- Superficie de unión del vástago con el patín.
- Revisar el sistema de aceite.
- Rueda el compresor en vacío y con carga.

2.2 Normativas y funciones de los diferentes actores en la gestión del mantenimiento de los compresores

Funciones de especialista:

El especialista de Mantenimiento Industrial con el desempeño de Planificador de Piezas de Repuesto es responsable de la organización y ejecución de la elaboración de los manuales de equipos, así como mantener actualizada la carpeta de planos de piezas de repuesto en el servidor de mantenimiento en vs31rc (z) de la unidad de negocios de la Refinería Camilo Cienfuegos.

El especialista de Mantenimiento Industrial con el desempeño de Diseñador de Piezas de Repuesto es responsable de entregar los planos debidamente elaborados y digitalizados al planificador de piezas para la organización de los manuales a su cargo, así como cumplimentar y hacer cumplir todo lo establecido en el presente documento.

Los especialistas del Grupo de Servicios Técnicos, son responsable de la entrega de toda la documentación e información necesaria de todo el equipamiento existente, así como los de nueva adquisición para la correcta elaboración de los manuales y la posterior fabricación de las piezas de repuesto.

Área Técnica de Mantenimiento:

Existe una estrecha relación entre el Grupo de Planificación y el Taller. Los jefes de brigadas y los planificadores coordinan y organizan la ejecución de los mantenimientos, a partir de las solicitudes de trabajo de las áreas productivas, las actividades de los planes anuales de mantenimiento y las recomendaciones de Servicios Técnicos, llevadas al Plan Mensual Operativo. Reciben de Planificación, además del Plan Mensual Operativo, las órdenes de trabajos planificados e imprevistos que se ejecutarán, órdenes que son entregadas a Planificación, una vez terminadas y firmadas por el control de calidad y el cliente, para su cierre y custodia.

Del Grupo de Planificación recibe las orientaciones de las piezas de repuesto a utilizar en los mantenimientos, además del diseño de piezas, conjuntos, según lo requiera.

Las Normas y Procedimientos:

Por ser la empresa Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”, de tecnología de fabricación de la ex Unión Soviética aun tienen vigencia las normas estatales, ramales (GOST y OST) de inspección, ejecución y control de la calidad de los mantenimientos y reparaciones. Además en la actualidad se lleva a cabo un proceso de introducción y utilización al mismo tiempo de las normas API actualizadas relacionadas en el “Índice de normas API de Inspección”.

Orden de Trabajo (OT):

Se emite para todos los trabajos de mantenimientos, exceptuando sólo los comprendidos en el Plan de Inspección Técnica.

Se emite para todos los trabajos de mantenimientos (programados o no), y recoge además toda la información que identifica al solicitante, al equipo, al área, al ejecutor; los datos correspondientes a los gastos presupuestados y reales en que se incurren.

Al finalizar los trabajos se cierran las órdenes, se calculan a finales de mes (Cierre Contable Mensual), se envía el comprobante a Contabilidad, donde se realiza el traspaso de los gastos incurridos.

El proceso de emisión, registro y control de la OT se regula de acuerdo con lo establecido en el procedimiento RF-DM-P-26-03 “Procedimiento para la emisión, registro y control de las Órdenes de Trabajo”, solicitándose los trabajos a Mantenimiento según lo dispuesto en el procedimiento RF-DM-P-26-02 “Procedimiento para la emisión y recepción de solicitudes de trabajos a Mantenimiento”.

Planes de trabajo:

La ejecución de la planificación y programación en el Sistema de Mantenimiento, trae como resultado que anualmente se elaboren, revisen y actualicen los planes anuales (Documentos Rectores de Mantenimiento), por los grupos técnicos especializados, quedando establecida la responsabilidad de la forma siguiente:

Jefe de Servicios Técnicos.

- Es responsable de la elaboración, revisión y corrección de los de Planes de
- Inspecciones Técnicas de los equipos tecnológicos.
- Esta responsabilizado con la confección de los ciclos de mantenimiento y lubricación de los equipos dinámicos, como base para la elaboración de los
- Planes Anuales de Mantenimiento (Documentos Rectores).
- Es responsable de la revisión de todos los planes relacionados con el mantenimiento al equipamiento y la corrección de los ciclos de mantenimiento de los mismos.

Jefe del Grupo de Planificación del Mantenimiento es responsable de:

- La confección, edición y compatibilización de los Documentos Rectores de
- Mantenimiento.
- La elaboración del Plan Mensual Operativo (PMO) y la programación de sus tareas.
- La elaboración y revisión de todos los planes anuales relacionados con la fabricación y recuperación de piezas de repuestos, inversiones y presupuestos de gastos por área de responsabilidad.
- La elaboración del presupuesto de los trabajos a contratar y el estudio de las ofertas de las empresas ejecutoras de mantenimiento, para su posterior aprobación por parte de Gerencia General de la Entidad.

Plan de Fabricación y Recuperación de Piezas de Repuesto:

Este plan recoge los volúmenes y surtidos de partes, piezas y accesorios de repuesto que se requieren fabricar, recuperar y comprar, para satisfacer tanto las necesidades de los Planes de Mantenimiento, como de las otras áreas de la Entidad, con la tecnología y normas que garanticen la calidad, tiempo de entrega y precio competitivo.

El plan se elabora según lo establecido en el RF-DM-P-26–01. “Procedimiento para la elaboración del Plan Anual de Mantenimiento (PAM.)” y se divide en las partes siguientes:

1. Fabricaciones con medios propios.
2. Fabricaciones a contratar con terceros
3. Piezas de repuesto a importar.

El Despacho de Mantenimiento, Servicios Técnicos, Despacho Eléctrico, Grupo Técnico de Instrumentación son responsables de la revisión y aprobación o no de las solicitudes de trabajo generadas.

La revisión del evento y emisión de un dictamen técnico por los Especialistas de Servicios Técnicos, quienes definen si el trabajo a realizar requiere o no recomendación técnica. En caso de que la misma sea requerida, se emite la recomendación.

A continuación el Despacho de Mantenimiento completa la información de la Solicitud de trabajo, previo a su aprobación. Específicamente los campos de “No de tarea”, “Descripción” Tipo de OT” y “Programador”.

En el caso de Servicios Técnicos, los trabajos solicitados se revisan por los especialistas, teniendo en cuenta las Clases y Prioridades aprobadas, que definirán el tiempo de respuesta establecido para cada caso y emiten un dictamen técnico, que determinará si la realización del trabajo requiere o no de Recomendación Técnica, y así lo refleja en el campo “Requiere RECTEC”

especificando SI o NO según el caso. Cuando el Trabajo requiere recomendación técnica, se especifica en el campo anterior y en el campo "Comentarios" se escribe el código (consecutivo) de la recomendación en los registros de Servicios Técnicos. Esta recomendación es ubicada en el Servidor: \\vs31rc\DTecnica\GSTecnicos organizadas acorde a la estructura en grupos o especialidades.

Las solicitudes creadas que requieran Recomendaciones Técnicas, al ser aprobadas, se adjuntará a la Orden de Trabajo dicha recomendación, siguiendo el camino indicado en el acápite 7.1 del presente documento.

Una vez aprobada la solicitud, MP2 muestra la pantalla en blanco, significando que ya la solicitud de trabajo ahora ha sido convertida en una

Orden de Trabajo (OT) en estado "Listo" a la espera de que se asignen la Brigada Ejecutora y se programen los recursos de mano de obra y materiales para la ejecución de los trabajos.

Los registros de las solicitudes de trabajo aprobadas o no en el Sistema MP2 lo conforma el Historial de Solicitudes de Trabajo, al cual se accede por Actividades/Solicitudes de Trabajo/Historial de Solicitudes de Trabajo. Las solicitudes aprobadas (convertidas en órdenes de trabajo) tendrán especificadas en el Historial de Solicitudes de Trabajo la fecha y hora de aprobación.

Después de realizado el trabajo, el Jefe de Brigada completa los puntos necesarios No. de Chapa y tiempo empleado en la ejecución de los trabajos. Además de comentarios con la mayor cantidad de detalles posibles, de los trabajos realizado. Posteriormente se la presenta al responsable del control de la calidad y después al cliente para su aprobación.

Una vez terminado el trabajo y firmada la orden de trabajo el Jefe de Brigada la entrega de forma inmediata al Planificador de Mantenimiento, responsable de actualizar la Orden de Trabajo en el Sistema de Gestión de Mantenimiento MP2. Una vez introducidos los cargos reales de mano de obra (propia o contratada),

materiales o piezas, se actualizan los comentarios sobre los trabajos realizados y se cierra la orden de trabajo quedando calculada económicamente.

La Orden de Trabajo terminada, se cierra en pantalla y pasa al Historial de Órdenes de Trabajo del Sistema de Gestión, formando parte de la base de datos para su evaluación y análisis estadístico.

Documentos que acompañan la orden de trabajo:

1. Recomendaciones técnicas.
2. Documentación técnica necesaria para su ejecución.
3. Solicitud de materiales

Control de los materiales en la orden de trabajo:

Al extraer los materiales del almacén el Jefe de Brigada está obligado a presentar la orden de trabajo acompañada de la solicitud de materiales. Una vez realizado el despacho de materiales, recibe la copia del vale de salida del almacén, refleja el Nº del Vale de salida en la parte superior derecha de la orden de trabajo, a la derecha de la descripción de la tarea, con el fin de facilitar el correcto enlace en el momento de la introducción del cargo de material de la orden del trabajo en MP2.

El Jefe de brigada de forma inmediata entrega la copia recibida del vale de salida en el Grupo Económico, encargado de la introducción del cargo de material. La copia del vale debe ser legible.

CAPÍTULO III: INSPECCIONES Y TIPOS DE ENSAYOS. PRUEBAS A QUE SON SOMETIDOS LOS ELEMENTOS DE LOS COMPRESORES

3.1 Valores normados para el retiro de los elementos fundamentales:

.Para el retiro de funcionamiento de los elementos fundamentales que componen el compresor es necesario:

Revisión y reparación de partes:

3.1.1 Revisión y reparación del cilindro:

cilindro:

- Los cilindros deben ser maquinados o sustituidos si las hendiduras de la superficie en la zona de trabajo es superior al 10 % del largo de su circunferencia, con una profundidad de los orificios mayor de 0,5 mm para presiones de hasta 10 Mpa o mayor de 0,25 mm para presiones mayor de 10 Mpa.
- Los cilindros deben ser sustituidos en presencia de grieta, cuando se maquina los cilindros se debe tener en cuenta que los valores de reparación límite para un diámetro menor de 200 mm no debe exceder del 2 % del diámetro nominal, para diámetro de 200 a 700 mm -1,5 % y para un diámetro mayor de 700 mm - 1 % del diámetro nominal.

Cuando se aplica el mantenimiento realizar las siguientes verificaciones del cilindro:

- Determinación del estado y el desgaste de la superficie del cilindro.
- Verificación de los cilindros y de los soportes de las válvulas a la rotura por fatiga en los lugares de concentración de tensiones, para una presión de descarga de hasta 200 Kgf/cm² no menos de una vez cada 3 años, y para una presión mayor de 200 Kgf/cm², no menos de una vez al año.
- Verificación de roturas y/o corrosión en los cilindros de acero y hierro fundido en la pared interior que divide las cavidades de agua y gas. El

estado de esta pared se controla observándola después del lavado y limpieza, y sometiéndola a una prueba hidráulica a ambos lados, sin sobrepasar la caída de presión entre las cavidades en las condiciones de trabajo.

- Verificación del estado de los espárragos del cilindro y la rosca en el cuerpo del cilindro.
- Limpieza de la cavidad de enfriamiento de los cilindros y sus tapas.
- Verificación del asentamiento y posición de los apoyos del cilindro.
- Verificación de la alineación del cilindro utilizando el método de la "cuerda de piano" como se indica en formulario técnico de estas máquinas.

La determinación de los valores del desgaste de la superficie de trabajo del cilindro se realiza midiendo con un indicador de reloj sus diámetros en 3 secciones: en el medio y en los extremos (ver figura.3.1). En cada sección se efectúa dos mediciones en el plano vertical y dos en el plano horizontal. Si los resultados obtenidos sobrepasan lo indicado en la tabla 3.1 (tabla de valores), entonces el cilindro debe ser rectificado o sustituido.

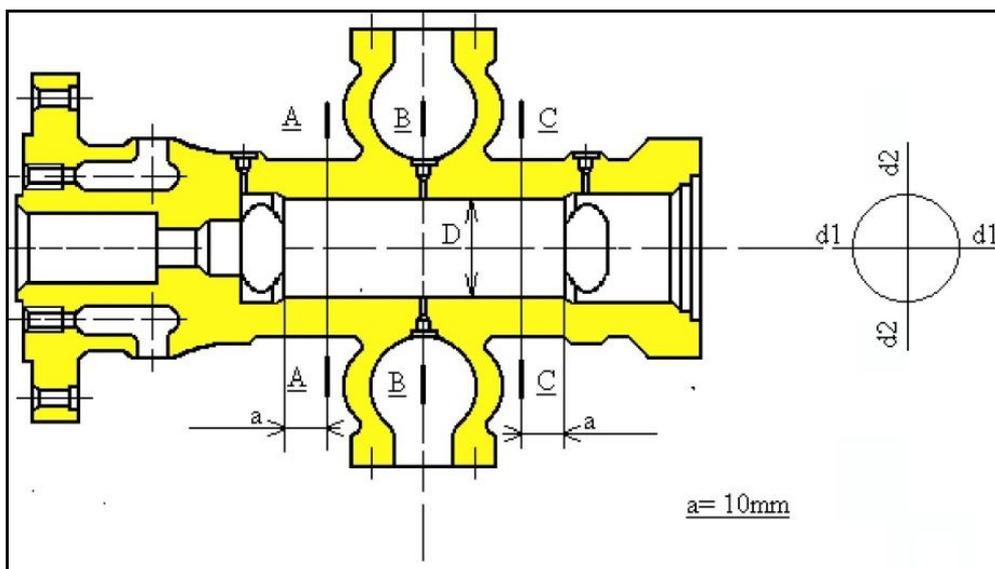


Figura 3.1: Medición de los diámetros de los cilindros

Tabla 3.1: Valores de los diámetros de los cilindros

Diámetro del cilindro (mm)	Valor límite de conicidad y ovalidad
50-100	0,10-0,20
100-150	0,20-0,30
150-300	0,30-0,55
300-400	0,55-0,65
400-700	0,65-0,80
700-1000	0,80-0,90
1000-1200	0,90-1,00
1200-1500	1,00-1,10

3.1.2 Revisión y reparación de las válvulas:

La periodicidad en el control del estado técnico de las válvulas se determina en dependencia del nivel de contaminación y agresividad de los componentes del gas y también de las condiciones de explotación, quiere esto decir que se determina basándose en los datos prácticos de explotación.

Las válvulas del compresor deben ser reparadas o sustituidas si:

- Presentan grietas o roturas de los flappers (láminas) u otros componentes.
- No hay hermeticidad o los valores de fuga son superiores a los indicados en las imágenes
- Hay más de un 30 % de disminución del área de la sección de paso como resultado de suciedad.

- Se traban las láminas en su movimiento.
- La deformación permanente del muelle es de más de 0,1 mm de su altura nominal.
- Se encuentra defectuosa la rosca del perno o la tuerca de apriete en las válvulas.
- Se destruyen las presillas que unen a los componentes de la válvula.

La superficie de trabajo del asiento de la válvula que presenta ralladura, hendidura o desgaste se puede maquinar con su debido rectificado y pulido hasta un 20 % de su dimensión inicial.

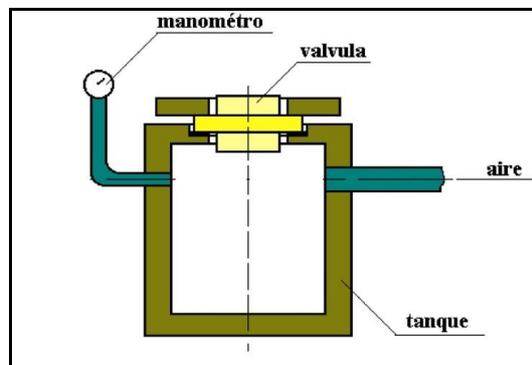


Figura 3.2: Método de prueba de válvula a la hermeticidad

Tabla 3.2: Criterio de hermeticidad de las válvulas de flujo directo

Diámetro del asiento de la válvula, (mm).	Criterio de hermeticidad mínimo de la válvula, t segundo.
Hasta 100 (incluyéndose)	55
110	50
125	40
140	30

150	25
155	20
165	18

Tabla 3.4: Criterio de hermeticidad para válvulas de muelle

Diámetro del asiento de la válvula, mm	Criterio de hermeticidad mínimo de la válvula, t segundo.
Hasta 85 (incluyéndose)	60
100	55
110	50
125	40
140	35
150	30
155	25
160	20
165	20
180	18
200	15
220	12
250	10

3.1.3 Revisión y reparación del Pistón. Aro del pistón:

La verificación del estado del pistón y de los aros de éste se realiza de la siguiente forma:

- Verificación del estado de la rosca del pistón.
- Verificación del estado de la unión del pistón al vástago. Verificación del estado de la estructura de seguridad.
- Verificación del desgaste y el estado de la canal para los aros del pistón y medición de la holgura axial entre estos y el extremo de la pared de los canales.
- Determinación de los valores de desgaste de los elementos de trabajo del pistón.
- Determinación de los valores de desgaste de los aros del pistón.
- Determinación visual de la presencia de hendidura en la superficie del pistón y si es necesario aplicar unos de los métodos de defectos copia.
- Verificación de la holgura entre el pistón y el cilindro en el eje vertical y en el horizontal, en los extremos y en el centro (ver figura 3.3).
- Verificación del espacio muerto entre el pistón y el cilindro (ver figura 3.4).
- Determinación del valor de la holgura en el cierre del aro del pistón.
- Prueba hidráulica del pistón a la resistencia y hermeticidad.

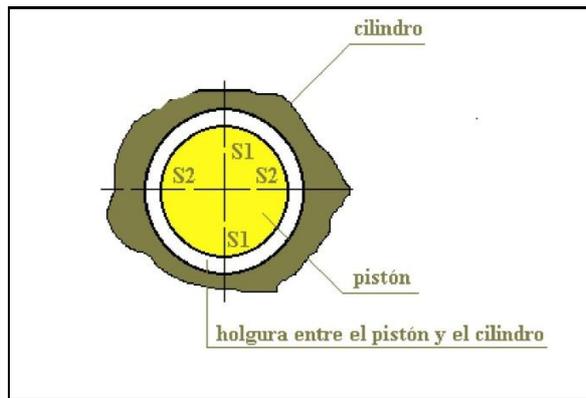


Figura 3.3: Medición de la holgura entre el pistón y el cilindro

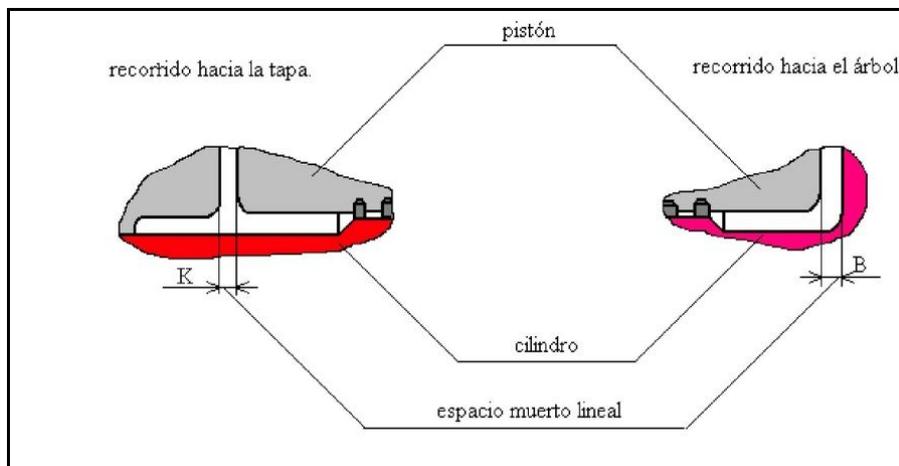


Figura 3.4: Medición de los espacios muertos

La holgura entre el pistón y el cilindro para los compresores sin lubricación en los cilindros durante la explotación no debe ser menor de 0,5 mm para los cilindros de hasta 100 Kg./cm² y 0,3 mm para los cilindros de presiones mayores a 100 Kg./cm².

El pistón debe ser retirado de explotación cuando:

- Hay presencia de hendidura en el cuerpo o en los cordones de soldadura.
- Si se destruye la tuerca de apriete del pistón.

Las holguras límite y de montaje entre el pistón y el cilindro durante la explotación se encuentra en la (tabla 3.5). La holgura lateral del pistón debe ser igual y

diferenciarse en no más de 0,2 mm para los cilindros de diámetro hasta 500 mm y no más de 0,25 mm para los cilindros de diámetros mayores a 500 mm.

Se puede variar la distancia entre los canales del pistón si se modifica su forma geométrica hasta el 20 % de su medida nominal.

Si se encuentra hendidura en la superficie de los aros del pistón o rebaba en los bordes se repara y se rectifica. Los aros del pistón se cambian si los valores del desgaste radial en cualquier sección es superior al 30 % de su espesor inicial y también si existen hendiduras en el área de deslizamiento del aro, mayor al 10 % de su circunferencia.

La no perpendicularidad de la superficie de apoyo del extremo del pistón que se une con el escalón del vástago, la tuerca del pistón y también la superficie lateral de las canales de los aros del pistón con relación al eje del vástago no debe ser mayor de 0,02 mm para 100 mm de largo.

Tabla 3.5: Holguras del pistón

Diámetro del cilindro, mm	Holgura diametral entre el cilindro y el pistón, mm			Holgura axial entre el aro del pistón y su canal, mm		Holgura en el cierre del aro del pistón, mm	
	Mínimo durante el montaje	Límite durante la explotación		Mínimo durante el montaje	Límite durante la explotación	Mínimo durante el montaje	Límite durante la explotación
		Para la etapa horizontal	Para la etapa vertical				
50-100	0,10-0,15	0,75-0,80	-	0,03-0,07	0,12	0,2-0,3	1,6-2,0
100-150	0,15-0,25	0,80-1,20	0,7-1,0	0,03-0,07	0,12	0,3-0,4	2,0-2,8
150-300	0,25-0,45	1,2-2,0	1,0-1,4	0,03-0,08	0,12	0,15-0,4	2,8-4,3
300-400	0,45-0,60	2,0-2,6	1,4-1,6	0,04-0,09	0,18	0,9-1,3	4,3-5,8
400-550	0,60-0,85	2,6-3,6	1,6-2,6	0,04-0,10	0,20	1,3-1,6	5,8-7,0

550-700	0,85-1,00	3,6-3,8	2-2,2	0,05,- 0,12	0,25	1,6-1,9	7,0-8,0
700-850	0,00-1,30	3,8-4,3	2,2-2,6	0,05-0,16	0,30	1,9-2,5	8,0-9,0
850-1000	1,30-1,50	4,3-4,6	-	0,05-0,18	0,35	2,5-2,8	9,0-10,0

El aro del pistón antes de ser ajustado en la canal de éste debe ser probado en su cilindro correspondiente o comparado con un aro calibrado; se maquina a la medida del cilindro y se verifica el valor de la holgura de dilatación en el cierre que se debe corresponder con lo indicado en la (Tabla 3.6).

Entre la pared del cilindro y el aro del pistón se permite un huelgo radial en no más de dos lugares de éste a un ángulo de 36° y separando a más de 15° del cierre no mayor que lo indicado en la tabla siguiente.

Tabla 3.6: Relación de valores entre diámetro exterior del aro y holgura permisible entre aros del pistón y el cilindro

Diámetro exterior del aro, mm	Holgura permisible entre los aros del pistón y el cilindro, mm
Hasta 160	0,03
Mayor de 160 hasta 400	0.05
Mayor de 400 hasta 620	0.07
Mayor de 620 hasta 700	0.08
Mayor de 700 hasta 900	0.09
Mayor de 900	0,10

El sumergimiento del aro del pistón en la canal es la diferencia entre la profundidad de la canal y la altura del aro del pistón colocado en la canal de este y cerrado completamente.

Tabla 3.7: Valores del sumergimiento de los aros del pistón

Diámetro del cilindro, mm	Valores del sumergimiento del aro en la canal del pistón, mm.
Desde 100 hasta 150	0,45 - 0,60
Mayor de 150 hasta 200	0,60 - 0,85
Mayor de 200 hasta 300	0,85 - 1,20
Mayor de 300 hasta 400	1,20 - 1,50
Mayor de 400 hasta 600	1,50 - 1,80
Mayor de 600 hasta 900	1,80 - 2,20

Cuando se colocan en el pistón aros nuevos se debe correr el compresor al vacío con abundante lubricante. Si el cilindro es nuevo la duración de la corrida es de 8 horas, si este es ya usado se puede disminuir este tiempo hasta 2 horas.

3.1.4 Revisión y reparación del Vástago:

La verificación del estado técnico del vástago se realiza en conjunto con el cilindro y el pistón. Para esto es necesario:

- Determinar visualmente el estado de la superficie; de la rosca y el desgaste del vástago.
- Determinar las pulsaciones del vástago en el plano horizontal y en el vertical durante el recorrido de éste.

Además de estas verificaciones en las reparaciones medias y generales es necesario comprobar el estado de la rosca, bordes y cuerpo del vástago a la rotura por fatiga. Esta verificación se realiza también en caso de tensiones en el metal del vástago.

Las pulsaciones límite de los vástagos en el plano horizontal y vertical en los límites del recorrido del pistón no debe ser mayor de:

- Para una presión de trabajo en el cilindro de hasta 15 Kg/cm².
- Con un recorrido del pistón de hasta 450 mm - 0,30 mm.
- Con un recorrido del pistón mayor de 450 mm - 0,45 mm.
- Para una presión de trabajo en el cilindro mayor de 15 Kg/cm² y hasta 150 Kg/cm² - 0,20 mm.

El desgaste de la superficie de trabajo del vástago se determina midiendo con un micrómetro sus diámetros después de las reparaciones y comparándolo con el nominal (ver figura 3.5). Si el desgaste del vástago es superior a la norma indicada en la imagen siguiente, entonces se debe maquinar el mismo.

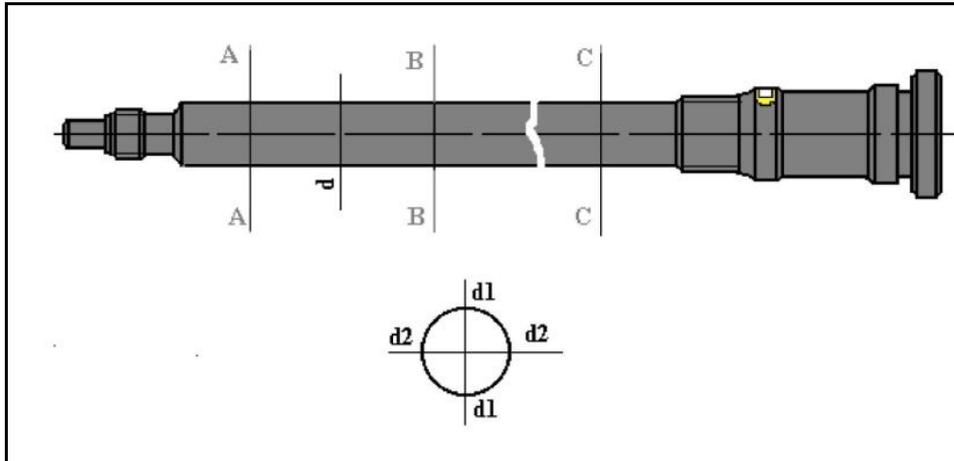


Figura 3.5: Medición de los diámetros del vástago

Tabla 3.8: Valores límite de desgaste del vástago

Diámetro del vástago, mm.	Valores límite de ovalidad y conicidad del vástago para una presión en el cilindro, mm.		Desgaste permisible del vástago hasta su rectificado, mm.
	<i>Hasta 50 Kg/cm²</i>	<i>Mayor de 50 Kg/cm²</i>	
30-60	0,07	0,04	0,30

60-90	0,10	0,05	0,40
90-120	0,15	0,08	0,50
120-180	0,30	0,15	0,80
180-220	0,45	0,20	1,00

El vástago debe ser retirado de explotación si su diámetro después de ser maquinado y rectificado ha disminuido un 2,5 % del nominal.

Cuando se realiza la revisión visual de la superficie del vástago; los pequeños defectos de su superficie se eliminarían con limado y lijado en el lugar. Si presentan abundante hendiduras y ralladuras, el vástago se maquina. Los defectos en la rosca: golpes, ralladuras, corrosión, se limpian y rectifican.

La no perpendicularidad de la superficie de los extremos del vástago que se apoya en la arandela distanciadora no debe ser mayor a 0,02 mm en 100 mm del diámetro del escalón con relación a su eje. La verificación se realiza con el indicador colocando el vástago en centros. El no paralelismo de los extremos de la arandela distanciadora de la cruceta, no debe ser superior a 0,01 mm del diámetro.

3.1.5 Revisión y reparación del bulón de la cruceta

Para evitar las roturas en la cruceta es necesario realizar los siguientes tipos de verificaciones:

- Control de los elementos de seguridad del acople del vástago con la cruceta y el bulón de la cruceta.
- Control de los elementos de unión del vástago con la cruceta y también los lugares de concentración de tensiones en ésta y en el bulón de la cruceta para evitar las roturas por fatiga. Se permite comprobar las hendiduras de la cruceta sin extraer ésta de la guía.

- Determinación del desgaste del pasador de la cruceta y el estado de su superficie del trabajo (ver figura 3.6).
- Control del estado y la fijación de las zapatas de la cruceta.
- Verificación del asentamiento del pistón a la guía.
- Regulación de la holgura entre la guía y la zapata de la cruceta.
- Todo lo realizado en la reparación media.
- Verificación del asentamiento de las zapatas con la guía de la cruceta.
- Revisión completa de la cruceta, el pasador de ésta y los elementos de acoples del vástago con la cruceta para encontrar posibles roturas por fatigas.

La cruceta y los elementos de acople con el vástago se retirarán de explotación cuando:

- En el cuerpo de la cruceta o en sus elementos se detecta hendiduras; si en los elementos de acople del vástago con el patín aparecen partiduras o si la rosca está dañada en más de un 10%.
- Aparte de la verificación del patín y sus elementos en la reparación media y en la general; cuando se realiza cualquier reparación relacionado con su desarme se debe efectuar una revisión visual de los bordes y configuración de éste.
- En los casos de sobrecargas en la cruceta (por ejemplo cuando existe golpes hidráulico), es necesario antes de poner en marcha el compresor revisar el estado técnico de sus elementos.

Antes del apriete de la tuerca de unión del vástago con la cruceta, la rosca se debe lubricar con aceite.

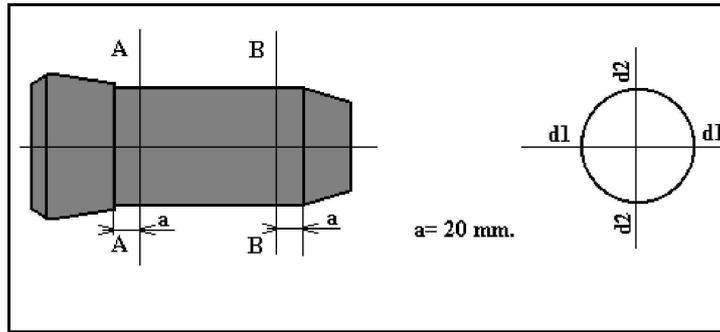


Figura 3.6: Medición de los diámetros del bulón de la cruceta

La ovalidad y la conicidad permisible del bulón de la cruceta se detallan en la tabla 3.9.

Tabla 3.9: Valores de la ovalidad y conicidad del bulón de la cruceta.

Diámetro del bulón de la cruceta, mm	Ovalidad máxima permisible, mm
60-90	0,06
120-160	0,08
180-200	0,10
200-260	0,15

El asentamiento de las zapatas de la cruceta a la guía deberá ser uniforme y cuando se verifica con pintura (con colores y polvos) debe formarse en cada cuadrado 25x25 mm no menos de 6 manchas, es decir que el área total de asentamiento debe ser no menor de 60 % de la superficie que se está verificando.

Los valores de la holgura entre la zapata de la cruceta y la guía se muestran debajo de la (figura 3.5). La verificación final de la holgura entre la zapata y la guía se realizará después de estar unida la cruceta al vástago de la siguiente forma y con el calibrador de hoja: en la posición frontal (por debajo), en la posición trasera (por arriba).

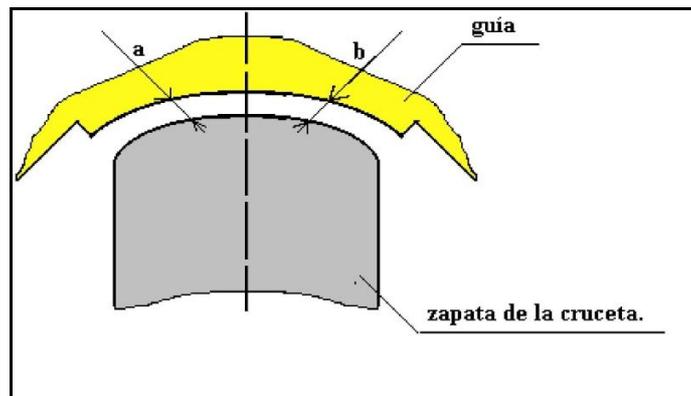


Figura 3.5: Holgura entre la zapata de la cruceta y la guía

Valores límites para la holgura entre la zapata de la cruceta y la guía----0.50 mm

3.1.6 Revisión y reparación de las tejas de la biela:

La adecuada observación del estado de las bielas y de sus piezas garantiza la explotación segura del compresor.

La inspección y mantenimiento de las bielas y de sus piezas deberán realizarse de la forma que aparece a continuación.

1. Control de las piezas de seguridad del perno de la biela, y también del pasador de la cruceta.
2. Regular la holgura en los rodamientos, si fuese necesario
3. Todos los trabajos correspondientes a la reparación pequeña.
4. Revisión del metal babbit. Determinación del valor del desgaste. Regulación de las holguras en los rodamientos (ver figura 3.6).
5. Verificación de la biela a la rotura por deformación
6. Todos los trabajos correspondientes a la reparación media.
7. Verificación del asentamiento de las tejas al cuerpo de la biela, al muñón del cigüeñal y en el pasador de la cruceta.
8. Verificación del asentamiento de ambas caras del cuerpo de la biela.

9. Verificación de daños en la rosca de los pernos de la biela

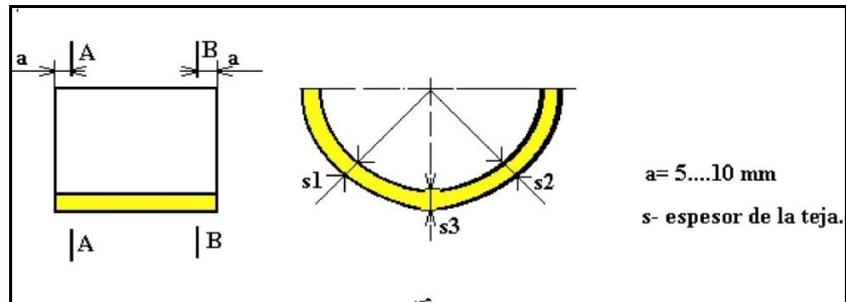


Figura 3.6: Medición de los espesores de las tejas

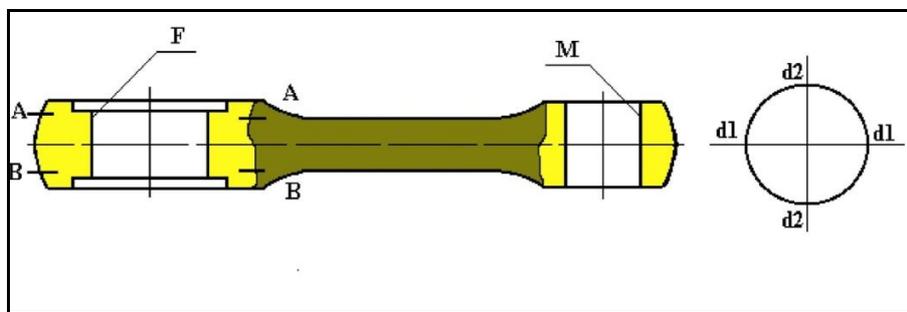


Figura 3.7: Medición de los diámetros de la biela

Las bielas que presentan partiduras se deberán sustituir.

El paralelismo en los ejes de ambos cabezales de la biela se verificará encima de un mármol y con ejes de prueba (de control) colocados en estos orificios y los indicadores de reloj. Uno de los ejes de control se coloca sobre prisma (ver figura 3.8), primero sin las tejas y después con las tejas en las dos cabezas de la biela.

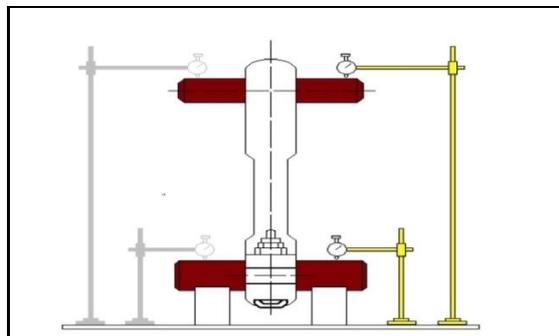


Figura 3.8: Verificación del paralelismo de los agujeros de la biela

La perpendicularidad del eje de la biela y su orificio se verificará con una plomada.

Los valores de desviación de la forma geométrica de la biela no deben exceder los 0.03 mm

Los valores de la holgura límite para los rodamientos de los compresores de pistón se encuentran en la tabla 3.10. En algunos compresores el recorrido axial de la biela se compensa con la dilatación del eje que se observa en el rodamiento de la parte de la cruceta (esto se debe tener en cuenta en la elección de la holgura; véase Tabla 3.10).

Tabla 3.10: Valores de holgura

No	Denominación de la holgura.	Diámetro del rodamiento mm.	Holgura de montaje, mm	Límite de la holgura durante la explotación, mm
1	Holgura diametral del rodamiento en el muñón del cigüeñal.	60 - 150	0.05 - 0.08	0.12 - 0.16
		160 - 210	0.06 - 0.10	0.16 - 0.18
		250 - 280	0.08 - 0.12	0.20 - 0.22
		280 - 330	0.08 - 0.15	0.22 - 0.24
2	Holgura axial total del rodamiento en el muñón del cigüeñal.	60 - 90	0.5 - 1.0	1

		90 - 120	1.0 - 2.0	2
		120 - 250	2.0 - 4.0	4
		250 - 350	4.0 - 6.0	6
3 a b	Holgura diametral del rodamiento en la parte de la cruceta: Para rodamiento de metal babbit. Para rodamiento de bronce	60 - 100	0.04 - 0.06	0.12
		100 - 140	0.05 - 0.08	0.15
		170 - 200	0.06 - 0.10	0.18
		230 - 260	0.08 - 0.14	0.28
		60 - 100	0.04 - 0.06	0.12
		100 - 140	0.05 - 0.08	0.15
		170 - 200	0.06 - 0.10	0.18

		230 - 260	0.08 - 0.14	0.28
		60 - 90	0.10 - 0.30	0.35
4	Holgura total del rodamiento en la parte de la cruceta: Para los compresores opuestos por ambos lados, no menos de:	100 - 120	0.15 - 0.40	0.45
		120 - 200	0.20 - 0.80	0.9
		210 - 300	0.40 - 1.00	1.1
		90 - 180	2	2

3.1.7 Revisión y reparación del perno de la biela:

La verificación del estado de los pernos de la biela se realizará de la siguiente forma:

1. Verificación del estado de la presilla de seguridad.
2. Determinación del valor del alargamiento permanente (Δ_{perm}), midiendo el largo del perno en estado libre.

$$\Delta_{perm.} = L1 - L2$$

Donde L1---Es el largo del perno en el momento de la medición.

L2---- Es el largo del perno en la primera medición.

El valor del alargamiento permanente (en estado libre) debe ser no mayor a 0.9 mm (0.002 del largo inicial)

1. Verificación de la existencia de grietas en el perno.
2. Verificación del asentamiento de las superficies de apoyo con pintura.
3. Determinación de los valores del alargamiento elástico del perno después del apriete (Δ_{elast}). (Ver fig. 3.9)

$$\Delta_{elast} = L_a - L_l$$

Donde: L_a --- Es el largo del perno apretado

L_l --- Es el largo del perno en estado libre.

El valor del alargamiento elástico medido entre el tope del área rectificada debe ser de 0.50 ± 0.02 mm.

Los pernos de la biela se sustituirán por nuevos: Si existen grietas en ellos, si la rosca se encuentra dañada (no importa que este dañado un hilo de la rosca), si sus partes están corroídas, si están dañadas sus bordes y también el alargamiento permanente del perno es superior al 0.2 % de su largo inicial. También puede ser sustituido el perno si la tuerca tiene defectos en el giro de apriete.

El tiempo de duración de los pernos de la biela aunque no presente estos defectos dependen de las indicaciones del fabricante y puede estar entre las 12 000 y las 60 000 horas.

Los pernos de las bielas se sustituyen en juego, quiere decir que al sustituir el perno se cambia también la tuerca.

Los valores del alargamiento elástico del perno y también el troqué de éste son dados por el fabricante teniendo en cuenta el material del perno y el tipo de rodamiento de la biela. Si no existieran estos valores se determina que para los pernos de la biela de acero al carbono $\Delta_{elast} = 0.0003L$ y para los pernos de acero aleado $\Delta_{elast} = 0.0004L$, donde L es la distancia entre la superficie de apoyo del cabezal y la tuerca del perno.

Durante la determinación de la deformación permanente y elástica de los pernos de la biela se tiene en cuenta la influencia de la temperatura. Es importante realizar la medición cuando la temperatura del perno de la biela y la del instrumento de medición no se diferencien de la temperatura del local donde se esté efectuando la medición.

Los pernos de la biela deberán entrar en los orificios de esta apretado, pero sin ser golpeado duramente. Se permiten golpes suaves con un martillo de bronce o de plomo. Si el orificio para el perno está dañado se deberá rectificar con un escariador.

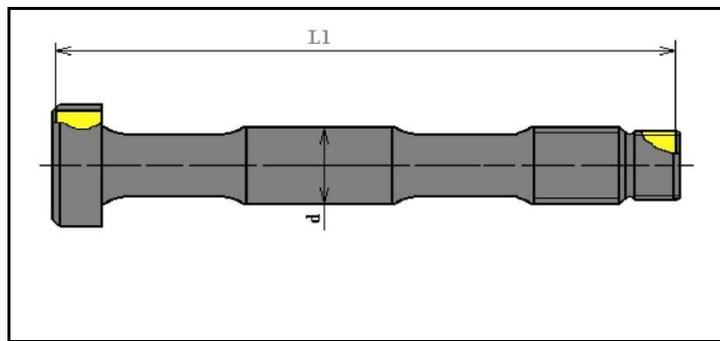


Figura 3.9: Medición de los valores del alargamiento elástico y permanente del perno

3.1.8 Revisión y reparación del Cigüeñal. Rodamientos del cigüeñal:

El estado del cigüeñal y de sus elementos se verificará de las siguientes formas.

- Verificación del ajuste de todos los rodamientos en eje del cigüeñal, de la cuña del motor eléctrico, de la fijación de los contrapesos. Si es necesario se debe regular las holguras en los rodamientos.
- Verificación del ajuste del semicoupling en el eje del compresor y en el motor eléctrico.
- Verificación del estado de la correa, si la presenta.
- Regulación de la holgura en los rodamientos del eje del cigüeñal y verificación del estado del metal babbit.

- Verificación del valor de la divergencia de los muñones del cigüeñal (ver fig. No; 3.10).
- Revisión y verificación de las holguras de los rodamientos de contacto rodantes, si los posee.
- Verificación visual con la utilización visual de una lupa o si es necesario con la defectos copia lumínica de los lugares débiles del árbol cigüeñal, de los bordes y escalones; para detectar grietas.
- Lavado y soplado de los canales para el aceite.
- Todos los trabajos comprendidos en la reparación media.
- Verificación de la existencia de grietas en el árbol.
- Revisión de la superficie de los muñones del árbol, medición de sus diámetros para determinar los valores de desgaste. Verificación de las pulsaciones de los muñones del cigüeñal.
- Verificación del eje para determinar la flexión permanente.
- Verificación del estado de los contrapesos y de su fijación.
- Revisión del estado de los rodamientos de contacto rodante o de las tejas de los rodamientos de contacto planos. Determinación del espesor de la capa de babbitt, si es necesario rellenar de nuevo.
- Medición de la divergencia de los muñones del cigüeñal y ajuste de esta a los valores de la norma (ver figura No 3.10 tabla No; 3.10).
- Verificación de la posición del árbol con un nivel.
- Verificación del ajuste del motor eléctrico al árbol del compresor.

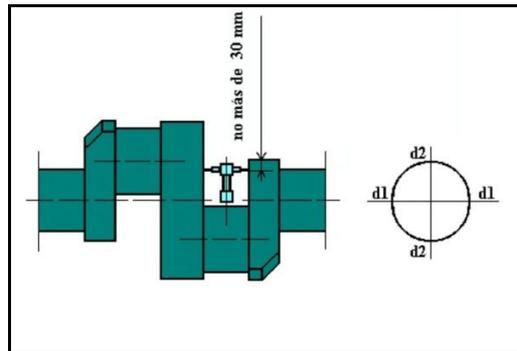


Figura 3.10: Medición de la divergencia de los muñones de cigüeñal

La revisión del estado de la superficie de los muñones se realizará visualmente. Los diámetros de los muñones se miden con un micrómetro. La ovalidad y conicidad de los muñones del cigüeñal se determina midiendo cada muñón en tres secciones y en el plano vertical y horizontal. A continuación se presentan los valores máximos permisibles:

Muñones de apoyo:

El batimiento con relación al eje del árbol no debe ser mayor que 0.05mm.

Ovalidad: 0.05 mm Conicidad: 0.025 mm

Muñones de la biela:

El no paralelismo del eje de los muñones de la biela con relación al eje del árbol no debe ser mayor que 0.15mm para 1000 mm de largo

Ovalidad: 0.025 mm

Conicidad: 0.025 mm

La pulsación en los muñones de los cigüeñales no deberá ser mayor de 0.05 mm.

El maquinado permisible de los diámetros del muñón del cigüeñal aparece en la (tabla de valores, 3.11). Después de alcanzado este valor no se permitirá su posterior utilización.

Tabla 3.11: Limite de maquinado permisible del diámetro de los muñones del cigüeñal.

Base, marca del Compresora	Diámetros del muñón, mm	Límite del maquinado permisible los diámetros, mm
M16	260	2.0

En la verificación del asentamiento de los muñones con pintura se permitirán manchas de hasta 10% de ancho del diámetro del muñón y de un largo de hasta 30 % de la longitud del mismo, con la condición de que la mancha se encuentre en diferentes planos.

El área total de todas las manchas (con excepción de las pequeñas) no deberá ser mayor de un 30 % de toda el área de la parte cilíndrica del muñón. La holgura radial y axial entre los muñones del cigüeñal y sus tejas correspondientes aparecen a continuación. (Figura 3.11).

$$\Delta_{\text{máx}}=0.32 \text{ mm}$$

$$\Delta_{\text{mín}}=0.18\text{mm}$$

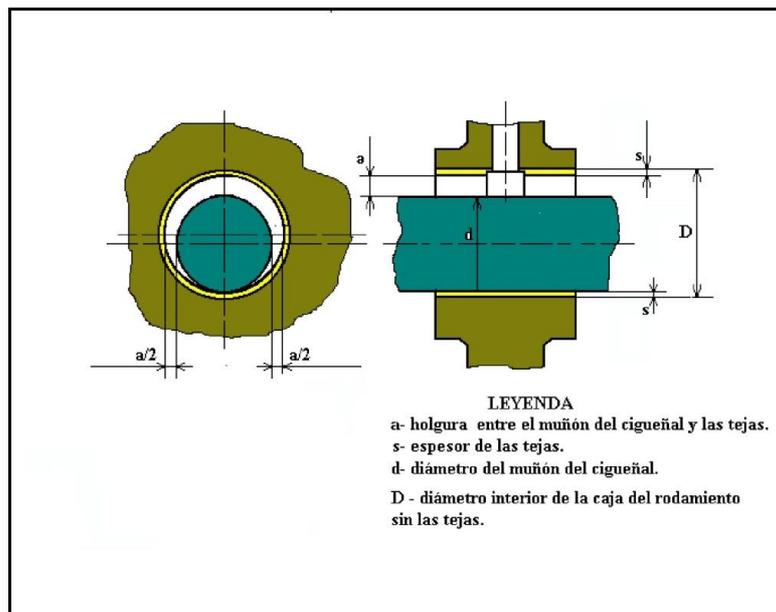


Figura 3.11: Medición de la holgura en los rodamientos principales

Las tejas deberán ser rellenadas o sustituidas por nuevas cuando:

Se destruyan algunas de las propiedades de la capa de babbit en más de un 15 % de la superficie de la teja.

La capa de babbit se desgasta en un 60 % de su espesor inicial.

El relleno con babbit de las tejas de los rodamientos principales no será permitido.

El no paralelismo del plano del lomo de la teja con relación al plano de su base y al de las tejas laterales se comprueba en un mármol con indicador de reloj y no debe ser mayor de 0.2 mm para un metro de largo (Ver figura 3.12).

No se permitirá colocar calzos debajo de las tejas en los rodamientos principales

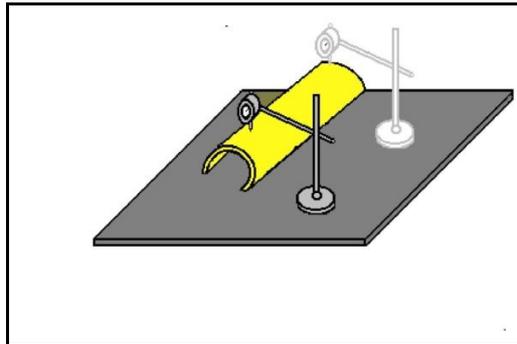


Figura 3.12: Verificación del paralelismo de los planos de la teja

Las tejas de los rodamientos deberán asentar herméticamente una con respecto a la otra y también con el cuerpo de la chumacera. El asentamiento deberá ser uniforme y coincidir en no menos de seis manchas de contacto en un cuadrado de 25 x 25 mm con el cuerpo donde están asentadas las tejas, teniendo en cuenta que el área total de las manchas no debe ser menor del 30 % de toda la superficie del asiento.

Los muñones del cigüeñal deberán uniforme y herméticamente asentar a las tejas de la chumacera por toda la superficie de trabajo. En un cuadrado de 25x25 mm

deberán haber no menos de 10 manchas teniendo en cuenta que el área total de contacto no deberá ser menor de 35-40 % de la superficie de la teja.

Se permitirá una desviación de la posición horizontal del árbol (sin rotor) de no más de:

- 1) 0.2 mm en un metro, para compresores horizontales.
- 2) 0.3 mm en un metro para compresores verticales.

La posición del árbol en los compresores horizontales de dos filas se considerará correcta si su eje posee una inclinación en los extremos y en el centro no mayor de 0.3 mm en un metro con relación al rotor del motor eléctrico.

Tabla 3.12: Valores de montaje y límite de explotación de la divergencia de los muñones del cigüeña.

Tipo de base durante el montaje	Valores de la divergencia de los muñones, mm límite de explotación
M16	hasta 0.03-0.05

Los valores de montaje y límite de explotación de la divergencia del primer y segundo muñón del cigüeñal lo dará el fabricante en la documentación técnica. Los valores de divergencia del cigüeñal en los rodamientos principales no deberán ser mayor de:

Para compresores con motor eléctrico excepto los opuestos:

1. Durante el montaje --- 0.0001S.
2. Durante la explotación---0.00025S.

Donde es el recorrido del pistón:

El cigüeñal deberá ser sustituido si la divergencia de los muñones es superior a la indicada durante la explotación.

Los valores de divergencia de los muñones en la posición vertical (arriba y abajo) y en la posición horizontal, se determina hallando la diferencia de las indicaciones del indicador del reloj en estas posiciones.

Si el cigüeñal se coloca en unas tejas, las cuales han sido rellenadas o sustituidas por nuevas, es necesario después de 48 horas de trabajo y en la siguiente reparación corriente medir el valor de la divergencia de los muñones.

3.2 Procedimiento para el montaje final de todas las partes reparadas

Después de la reparación de los rodamientos principales, será necesario antes de la arrancada del compresor verificar con un nivel la posición del cigüeñal y los valores de divergencia de los muñones.

Los valores de divergencia de los muñones se verificarán también si hay aumento de la temperatura aunque sea en uno de los rodamientos principales.

La desviación de la perpendicularidad del eje de la cruceta con respecto al eje del cigüeñal no deberá ser mayor de 0.1 mm para un metro.

La holgura axial total en los rodamientos principales deberá de estar durante el montaje entre 0.0005—0.001D, donde D es el diámetro del cigüeñal. Durante la explotación no deberá ser mayor de 0.002D para muñones de 350 mm y no mayor de 0.0015D para muñones mayores de 350 mm. Para compresores opuestos deberá de estar entre 0.8—1.0 mm para un metro de largo.

Una vez que se tiene revisadas, medidas, reparadas, o habilitadas del almacén las partes del equipo, se deberá dar inicio al ensamblaje del compresor. Para ello es necesario:

1. Chequear la limpieza de los elementos del equipo.
2. Colocar las tejas en las chumaceras.
3. Montar el cigüeñal en el compresor sobre sus rodamientos.

4. Montar la parte superior de las chumaceras.
5. Ensamblar la biela con la cruceta teniendo muy en cuenta la fijación del bulón.
6. Montar el conjunto biela -cruceta en su alojamiento.
7. Montar las bielas con las tejas en los muñones del cigüeñal.
8. Montar la tapa de las bielas con sus tejas. Tomar especial atención en el apriete de los pernos de biela y colocar la presilla de seguridad.
9. Ensamblar el conjunto pistón- vástago. Prestar la debida atención a la tuerca de fijación y colocar la presilla de seguridad.
10. colocar los aros al pistón del compresor.
11. Montar el conjunto pistón-vástago en la cámara del cilindro.
12. Montar la caja de sellos.
13. Unir el vástago a la cruceta con la ayuda de la tuerca de fijación.
14. Regular el paso muerto y fijarlo con la contratuerca.
15. Ajustar los sellos al vástago.
16. Montar la bomba de lubricación de cigüeñal.
17. Acoplar el motor con el cigüeñal.
18. Colocar las tapas del cárter y las escotillas.
19. Verter en el cárter el aceite indicado por el fabricante en tipo y cantidad.
20. Instalar las tuberías de agua, de lubricación y demás accesorios excepto las válvulas.
21. Apretar todas las tuercas en los lugares necesarios.

CONCLUSIONES

1. Se diseñó una metodología que contribuye a elevar la eficacia de las tareas que se llevan a cabo durante la realización del mantenimiento, destacándose aquellas actividades relacionadas con las reparaciones.
2. Se hizo una investigación y caracterización de los defectos y valores que limitan la vida útil de las partes y piezas fundamentales de los compresores C202-203 A/B principalmente.
3. La importancia, viabilidad y pertinencia de un documento único que remita tanto a los pasos a seguir durante las distintas operaciones que se realizan en el mantenimiento como los valores límites a partir de los cuales es necesario retirar partes y piezas del compresor.

RECOMENDACIONES

- Sistematizar la aplicación de esta metodología como alternativa que contribuya a elevar la eficiencia en la práctica, perfeccionarlo en el sentido de lograr cada día una mayor especialización en el mantenimiento de dichos compresores recíprocos.
- Aplicar la metodología en los todos tipos de compresores recíprocos que existen en la sección 700, realizando las adecuaciones pertinentes cuando varíen parámetros y medidas que se toman en cuenta en el momento de realizar el retiro de partes y pieza.

BIBLIOGRAFÍA

- 1,2-C-201/C-202/1/2/R. (s. f.-a). DTI Compresor de Gas de Circulación de Reformación.
- 1,2-C-201/C-202/1/2/R. (s. f.-b). DTI Compresor de Gas de Circulación de Reformación.
- 1,2-C-201/C-202/1/2/R. (s. f.-c). DTI Compresor de Gas de Circulación de Reformación.
- Albarracín, A. P. (1996). Tribología y lubricación industrial y automotriz (Vol. I). Colombia: 3ra. Edición.
- Albarracín, A. P. (2009). Impacto del desgaste sobre los mecanismos lubricados, Ingenieros de lubricación. Recuperado a partir de www.ingenierosdelubricación.com
- Alesandro da silva. (s. f.). Manual de análisis de irregularidades de los compresores recíprocos. Ingeniería de aplicación y mantenimiento.
- Álvarez, G. E. (2002). Tribología, Fricción, Desgaste y Lubricación.
- American Petroleum Institute. (1995). Reciprocating Compressors for Petroleum, Chemical, and Gas Industry Services.
- Balla, J, & M. Marko. (1989). Análisis de los desgastes de árboles, ejes y posibilidad de su recuperación. Moscú: Zemedelska.
- Baranov, I. A. (1999). Recuperación de los elementos de máquinas. Moscú: Construcción de maquinaria.
- C-201/C-201R. (S. f.-a). DTI Compresor de Gas de Circulación de Hidrofinación de Nafta.
- C-201/C-201R. (s. f.-b). DTI Compresor de Gas de Circulación de Hidrofinación de Nafta.
- C-203/203R. (s. f.-a). Compresor de Refuerzo.
- C-203/203R. (s. f.-b). Compresor de Refuerzo.

- Colectivo de autores. (1993). Manual de recuperación de piezas. La Habana: Científico Técnico.
- Compresor. (2011). Recuperado a partir de [http://es.wikipedia.org/wiki/Compresor_\(m%C3%A1quina\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Compresor_(m%C3%A1quina))
- Compresores. (2011). Recuperado a partir de <http://cict.refcfg.cuvenpetrol.cu/cd/Libros%20Electronicos/Compresores.pdf>
- Compressor recíprocante. (2011). Recuperado a partir de http://es.wikipedia.org/wiki/Compresor_recíprocante
- Contreras, L, & Sanjuán, R. (2007). Aplicación Técnicas de Diagnóstico Compresores de Hidrógeno.
- Edward Pope, J. (1997). Rules of thumb for mechanical engineers. Houston: Gulf Publishing Company.
- Eugene A, & Avalone, Theodore Baumeister. (1996). Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers. New York: McGraw- Hill.
- Francisco Wilfredo. (2008). Metodología de la Investigación Científica.
- Greene, R. W. (2004). Selección, Uso y Mantenimientos.
- Linares, O. (2005). Tribología y mantenimiento preventivo, Fundamentos de la lubricación, fricción y el desgaste. USA: Boletín ASME.
- Pemex. (1993). Manual para la formulación y seguimiento de procedimiento de trabajo de mantenimiento de plantas.
- Pemex. (2007). Compresores recíprocantes.
- Perry, R. H. (s. f.). Biblioteca del Ingeniero Químico (Vol. 2). España: Mc Graw-Hill.
- RF-DT-IT-14-24. (S. f.). Instrucción para la inspección y mantenimiento de los compresores.
- RF-DT-M-17-02. (S. f.). Manual de operaciones. Compresores planta combinada.
- Richard W, & Greene. (1987). Compresores: selección, uso y mantenimiento. New York: Mc Graw-Hill.

RRF-DT-IT-14-24-01. (S. f.). Revisión técnica de compresores de émbolo.

RRF-DT-IT-14-24-02. (S. f.). Reparación pequeña de compresores de émbolo.

RRF-DT-IT-14-24-03. (S. f.). Reparación mediana de compresores de émbolo.

RRF-DT-IT-14-24-04. (S. f.). Reparación capital de compresores de émbolo.

RRF-DT-IT-14-24-05. (S. f.). Lista de chequeo: cambio de polaridad.

RF-DM-P-29-01 Procedimiento Funcional del Taller de Planta

Rev.1RF-DM-P-26-02-Procedimiento para la Generación de las Solicitudes de Trabajo a Mantenimiento. Revisión 3

RF-DM-M-25-01 Manual del Sistema de Mantenimiento Revisión 1

RF-DM-P-26-03 Procedimiento para la Emisión de Orden de Trabajo de Mantenimiento Correctivo Rev.

RF-DM-P-29-01 Procedimiento Funcional del Taller de Planta Revisión 1

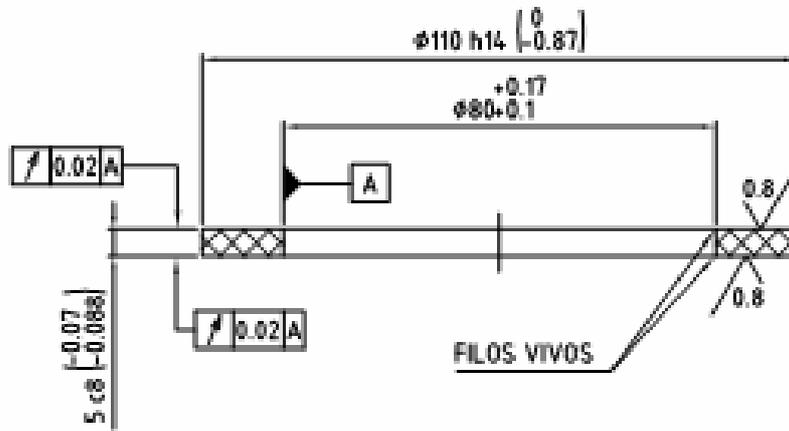
RF-DM-P-25-01 Procedimiento Funcional del Área Técnica de Mtto Rev 1

RF-DM-P-26-04 Revisión y aprobación de solicitudes de trabajo Rev N° 0

Sistema de Gestión Total Eficiente de Energía en la CTE Carlos Manuel de Céspedes (2007)

9L700'70'70

3.2 / (0.8)



FINA Y FECHA	
No. REV. D.	
SUSTITUYE A:	
FINA Y FECHA	
No. REV. D.	
PROYECTO	J. IBAN
REVISÓ	
CONT. TEC.	
CONT. NOR.	
APROBÓ	

PROJ.	CANT.	PL. NOTIF.	FIRMA	FECHA

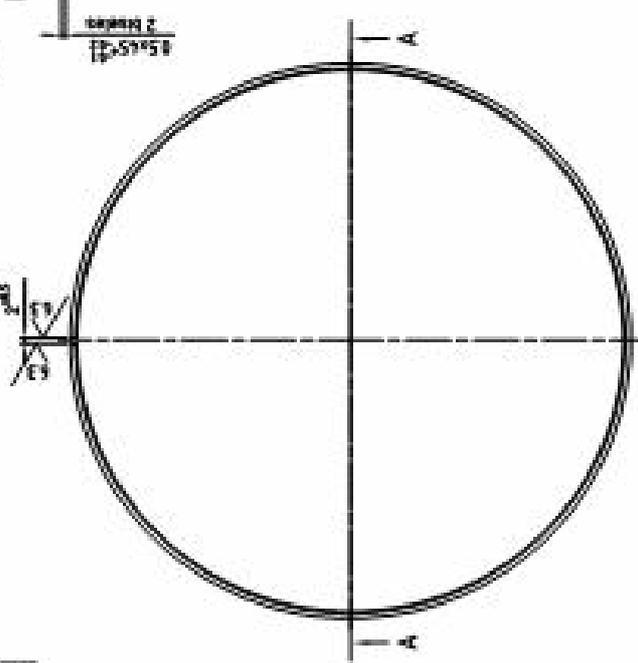
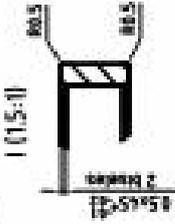
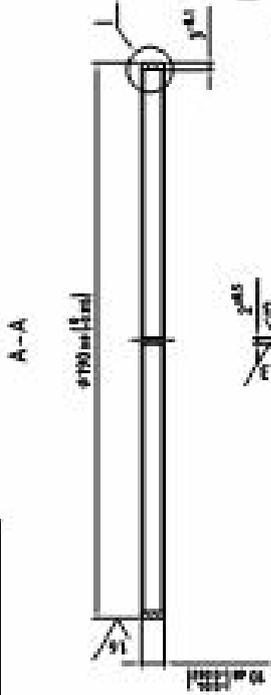
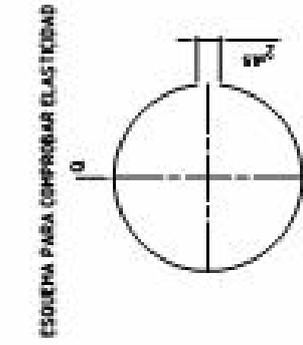
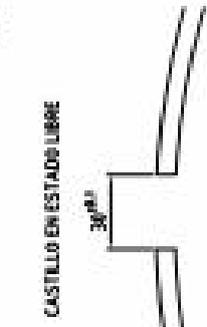
ANILLO PROTECTOR
(V-1.2.3)

FLUVIS-20

PDVCUPET.SA			
ETAPAS DE ELABORACIÓN			
D.T.			
UNDA	ESCALA	NUMO	CANT. II
	1:1	1	1
04.04.00476			

32 (63 10)

04.04.04.308

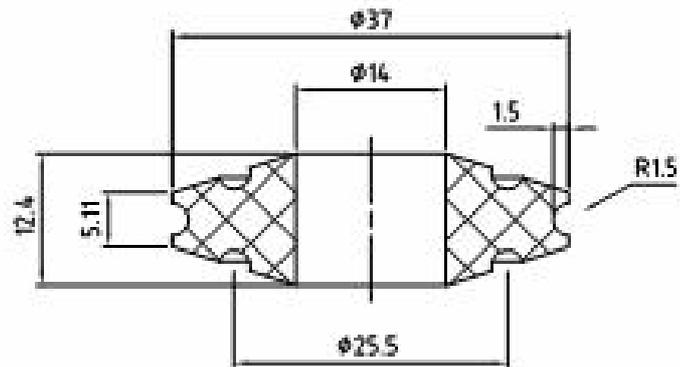


- 1- Dureza HRC 32/40.
- 2- Material sustituto 68C2* GOST 14959-79. 500FA GOST 14963-78.
- 3- La holgura radial permitida entre el collar de control de 010009 y el expansor en no más de dos bracos de arco no mayor de 45° y alejado de la abertura no menos de 9° no debe ser mayor de 0.2mm.
- 4- La elasticidad se comprueba por el espesor bajo un peso 0.4x2xRg.
- 5- Las desviaciones límites no indicadas se toman por mlt, mlt, 0.02/2.

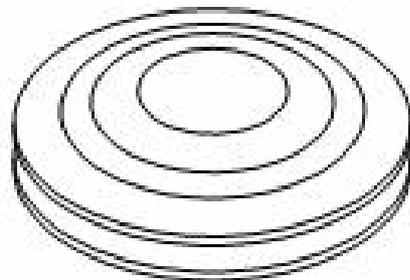
EXPANCONADOR		Cuponpetrol	
V-3		04.04.04.308	
11	12	13	14
15	16	17	18
19	20	21	22
23	24	25	26
27	28	29	30
31	32	33	34
35	36	37	38
39	40	41	42
43	44	45	46
47	48	49	50
51	52	53	54
55	56	57	58
59	60	61	62
63	64	65	66
67	68	69	70
71	72	73	74
75	76	77	78
79	80	81	82
83	84	85	86
87	88	89	90
91	92	93	94
95	96	97	98
99	100	101	102

04.04.04.308	04.04.04.308	04.04.04.308	04.04.04.308	04.04.04.308
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

E950'70'70



-Radios no acotados 1.5mm



FORMA Y FECHA	FORMA Y FECHA
	No. REV. D
FORMA Y FECHA	SUBSTITUYE A
	No. REV. B
FORMA Y FECHA	No. REV. C
	No. REV. D
FORMA Y FECHA	No. REV. E
	No. REV. F

NO.	FECHA	FORMA Y FECHA	FECHA

JUNTA
SELLJE
DEL PATIN
(V-1.2.3)

GOMA



Cuenpetrol

ETAPAS DE ELABORACIÓN

D.T.			
PLAZA	ESCALA	FECHA	CANTID.
	1:1		

04.04.0563

