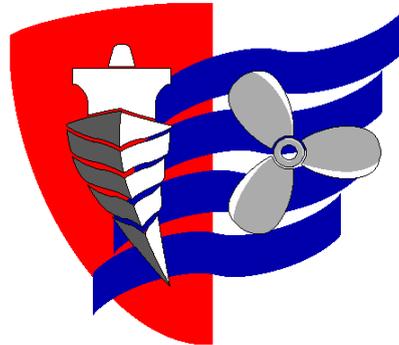


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA  
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



*Trabajo Fin de Grado*

**ESTUDIO TÉCNICO DE LUBRICACIÓN Y  
PROBLEMAS EN LOS COJINETES**

---

**TECHNICAL STUDY OF LUBRICATION  
AND FAULTS OF THE BEARINGS**

Para acceder al Título de Grado en

**INGENIERÍA MARINA**

Autor: FRANCISCO JORGE COSTALES CASTRO

Director: SERGIO GARCÍA GÓMEZ

OCTUBRE - 2017

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA  
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

*Trabajo Fin de Grado*

ESTUDIO TÉCNICO DE LUBRICACIÓN Y  
PROBLEMAS EN LOS COJINETES

---

TECHNICAL STUDY OF LUBRICATION  
AND FAULTS OF THE BEARINGS

Para acceder al Título de Grado en  
**INGENIERÍA MARINA**

OCTUBRE - 2017

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN .....	4
ABSTRACT .....	4
PALABRAS CLAVE .....	5
KEYWORDS .....	5
1. PLANTEAMIENTO .....	6
1.1 Antecedentes: .....	6
1.1.1 Características del motor principal. ....	7
1.2 Funciones de la lubricación.....	8
1.2.1. Propiedades que ha de tener un aceite de lubricación. ....	9
1.2 Descripción del sistema de lubricación.....	15
1.3.1 Elementos a lubricar. ....	17
1.3.2 Los cojinetes.....	19
1.3.3 Sistema de depuración de aceite de lubricación del motor principal. ....	23
2. METODOLOGÍA .....	30
2.1 Cojinetes cabeza de biela.....	30
2.1.1 Desmontaje cojinetes cabeza de biela, (Big-end bearing).....	30
2.1.2 Comprobación de la holgura axial del cojinete de empuje: .....	32
2.1.3 Montaje de los cojinetes de cabeza de biela .....	33
2.2 Cojinetes de bancada.....	34
2.2.1 Desmontaje de los cojinetes de bancada: .....	34
2.2.2 Comprobación de la holgura de bancada (K).....	36
2.2.3. Montaje de los nuevos cojinetes de bancada (bearing shells) .....	37
2.3 Cojinetes del árbol de levas (camshaft bearings) .....	40
2.4. Análisis del sistema de depuración de aceite. ....	42
2.4. Análisis del aceite.....	54
2.4.1 Valores límite y factores que afectan .....	55
3. DESARROLLO .....	65
3.1 Estudio del estado de los cojinetes.....	65
3.1.1 Enjuiciamiento del estado de los cojinetes.....	70
3.1.2 Flexiones de cigüeñal: .....	73
3.2 Estudio de estado del lubricante. Discusión de resultados y relación con averías.....	77
4. CONCLUSIONES .....	86
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	88

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se pretende realizar un análisis del proceso de lubricación de un motor diesel de cuatro tiempos.

Se analizarán las partes que intervienen en el proceso de lubricación y en el de depuración, así como los elementos que requieren de la lubricación.

Especial atención se dedicará a los cojinetes (bancada y biela), siendo estos, una de las partes importantes de un motor.

Se observará la importancia de la condición del aceite, mediante la toma de muestras y su posterior análisis, como medio eficaz de mantenimiento. Se ofrecerá una visión de las características físico-químicas, que ha de tener, así como su composición.

Finalmente se muestra la relación que existe entre la lubricación y la condición del aceite, en el estado de los cojinetes, justificándose el análisis periódico del lubricante, con el fin de alargar la vida útil del motor.

## **ABSTRACT**

In the present work I try to show an analysis of a four-stroke diesel engine lubrication process.

Analyzing the parts involved in the lubrication and purification process. As well as the elements that requires this lubrication, with special emphasis on bearings, as one of the most important elements of the engine.

The importance of the condition of the lubricating oil will be observed, by taking oil samples and its subsequent analysis as an effective means of maintenance. Focusing into the physical chemistry characteristics and composition.

Finally, the relationship between the lubrication process and the condition of the oil, will be observed in the state of the bearings. Justifying a periodic analysis of the oil samples as a predictive maintenance.

## **PALABRAS CLAVE**

Lubricación

Cojinete

Viscosidad

Fricción

Desgaste

## **KEYWORDS**

Lubrication

Bearing

Viscosity

Friction

Wear

# 1. PLANTEAMIENTO

## 1.1 Antecedentes:

En el caso que nos encontramos, es un buque que estuvo parado durante un largo periodo de tiempo, cercano a los dos años, el aspecto general en el que se encontraba el buque, no era muy bueno.

Al cambiar este de propietarios, se decidió remolcarlo hasta las instalaciones del astillero y comenzar allí las tareas de reparación y mantenimiento, necesarias para su vuelta a la operatividad.

Especial importancia se le dedicó al motor principal, por lo tanto se decidió hacer un overhaul del motor, a pesar que muchos de los elementos que se decidieron inspeccionar/sustituir, se encontraban lejos aún del mantenimiento programado por el fabricante, en este caso MAK.

Este trabajo se centrará, en el mantenimiento que se llevó a cabo en el motor principal, haciendo hincapié en sistema de lubricación y se tratará de ofrecer un enfoque de cómo ha de ser la condición del lubricante, a fin de prevenir posibles averías, alargar la vida útil del motor y consecuentemente evitar los cuantiosos daños que podrían originarse.

### 1.1.1 Características del motor principal.

Los trabajos se realizan en un motor MAK 6M25, un motor de 6 cilindros de 255mm de diámetro de camisa, carrera de 400mm, es un motor semi-rápido, 450-750 rpm, de cárter seco, este motor permite ser alimentado con HFO, en este caso funciona con IFO180, el consumo específico de combustible es de 184g/hWh. Y el consumo específico de aceite de lubricación es de 0.6g/kWh( $\pm 0.3$ ).

La potencia que desarrolla el motor es de 1900 kW.



Fig.1 Imagen del motor principal MAK 6M25 (fuente: manual MAK engine operating instructions)

Asociado a una reductora/multiplicadora, saliendo de esta un eje para el generador de cola, y otro para propulsión (HPV, hélice de paso variable).

## 1.2 Funciones de la lubricación

La lubricación tiene como principal función reducir la fricción, interponiendo una película de lubricante (aceite) entre las superficies en contacto, evitando el contacto directo entre estas, consiguiendo así reducir el desgaste.

Consiguiendo separar las rugosidades de las superficies de los cuerpos en contacto y atenuando la adhesión entre las superficies en contacto debidas a de sus afinidades moleculares.

Otras funciones importantes del lubricante son:

- Ayuda a disipar el calor generado por la fricción. En torno al 5-10% del calor generado por el motor se transfiere al sistema de lubricación.
- Protege contra la oxidación y la corrosión, (los productos; hollines e insolubles provenientes de la combustión incompleta del combustible, pueden ser corrosivos, de sobremanera a altas temperaturas. Dando como resultado corrosión y desgaste).
- Limpia y arrastra las partículas contaminantes y/o abrasivas.
- Reduce los ruidos y vibraciones.
- Ha de tener función detergente.

[1]

### 1.2.1. Propiedades que ha de tener un aceite de lubricación.

El aceite de lubricación en los motores diesel, trabaja en condiciones muy adversas, como es el caso de los pistones, donde se espera que este lubrique eficientemente el movimiento alternativo a temperaturas que pueden sobrepasar los 300°C, además de esto también se le exige que pueda soportar cargas pesadas en los cojinetes, (cabeza de biela, eje de levas, balancines, bancada...) Por lo tanto para poder hacer frente a estas exigentes condiciones, el aceite debe tener una serie de propiedades:

#### -Viscosidad:

La viscosidad de un aceite es la resistencia que este presenta a fluir, es su propiedad más importante. El aceite ha de tener la viscosidad adecuada para asegurar una película de lubricación a las temperaturas y cargas de trabajo del motor. Pero en oposición no ha de ser tan viscoso para evitar que ejerza un arrastre excesivo, que provoque una reducción de la potencia de salida o un aumento de combustible.

La viscosidad del aceite disminuye según aumenta su temperatura. La medida de esta variación puede ser expresada en términos del índice de viscosidad. Cuanto mayor sea el índice de viscosidad, indicará una menor variación de su viscosidad al variar la temperatura.

Los aceites para motores diesel, conocidos como multigrados, contienen aditivos, que buscan mejorar el índice de viscosidad, incrementándolo. Estos aceites son lo suficientemente delgados a bajas temperaturas, que minimizan el arrastre viscoso, por ejemplo en el arranque en frío.

Pero al mismo tiempo son lo suficientemente viscosos como para que a temperaturas de operación del motor, proporcionen la película de lubricación y un sellado efectivo de los gases.

Pero este aditivo puede degradarse debido principalmente al efecto de cizallamiento, que sufren en las holguras de los cojinetes del motor, pudiendo entonces destruir estas grandes moléculas del aditivo, de esta forma una vez el aditivo se ha deteriorado al aceite varía más su viscosidad al cambiar su temperatura.

En la figura 2 que se muestra a continuación podemos observar la variación de la viscosidad en función de la temperatura de tres diferentes aceites.

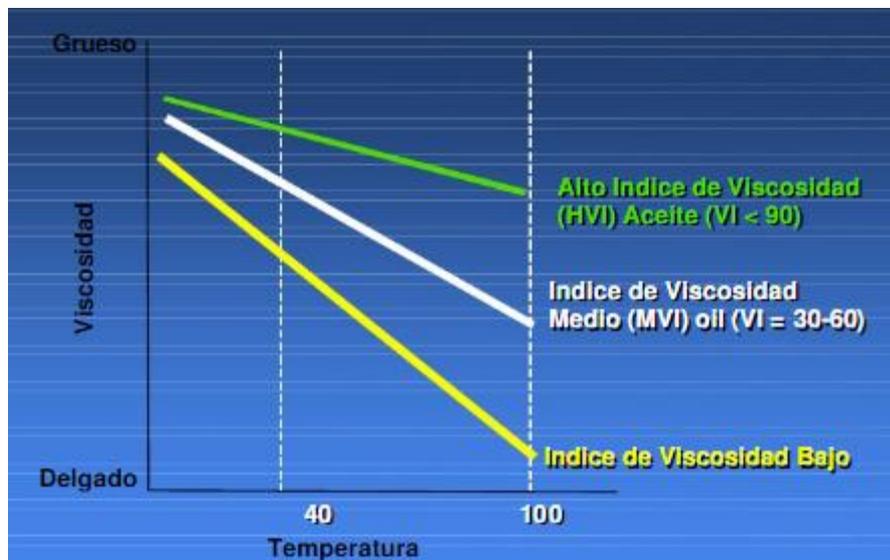


Fig.2 Viscosidad/temperatura, (Shell. El tutor de lubricación; módulo 2)

### Grados de viscosidad

Las viscosidades de los aceites para motores diesel suelen estar especificadas por los grados SAE de acuerdo con el sistema creado por la Sociedad Americana de Ingenieros Automotrices, (estos grados pueden estar basados en medidas de la viscosidad a 100°C o como son los denominados grados "W" basados en medidas que varían entre los -5 y -30°C). Los aceites minerales sólo satisfacen los requerimientos de un solo grado, (monógrado). Mientras que los lubricantes multigrado, los cuales

tienen mejoradores del índice de viscosidad pueden soportar ambos grados al mismo tiempo. Pero como ya se comentó este índice de viscosidad puede deteriorarse y perder efectividad, cuando sufre cizallamiento, de ahí la importancia de que el aceite trabaje en rangos admisibles y que sea de calidad, de esta forma se asegura que el aceite mantenga el SAE original, ya que estos aceites de mayor calidad poseen aditivos que mejoran su resistencia al cizallamiento.

#### Propiedades de flujo a baja temperatura:

Los aceites para motores diesel que son usados a baja temperatura, (ambientes fríos, especialmente durante el arranque) han de ser lo suficientemente fluidos a bajas temperaturas, para circular por todo el sistema de lubricación tan pronto como el motor sea arrancado.

Por lo tanto queda claro la necesidad que un aceite tenga viscosidad, fluidez y bombeabilidad.

El punto de fluidez de un aceite es la temperatura más baja a la cual fluye, para esto a los aceites de motor. Se les añade depresores del punto de fluidez, este factor también es alterado por los residuos que puede haber de combustible inquemado, debido al desgaste, por que se pone en manifiesto la importancia de los periodos de renovación del aceite, así como un correcto estado de los elementos del motor que aseguran una menor presencia de residuos de la combustión en el aceite. (segmentos, camisas...).

#### Estabilidad a la oxidación

Cuando un aceite es calentado en presencia de oxígeno éste, se oscurece y espesa, fruto de la oxidación del aceite al formar ácidos orgánicos, lacas adhesivas y lodos, estos cambios son más visibles cuanto más elevada es la temperatura y con la presencia de humedad. Productos de

combustión y metales, por lo tanto hace del motor diesel un lugar en el cual esta oxidación sea fácil de producirse.

Los ácidos pueden ser el origen de corrosión, las lacas pueden incrementar la fricción y pueden originar problemas en los segmentos del pistón, y los lodos pueden provocar sedimentos, que pueden obstruir filtros o conductos de circulación del aceite.

Todos estos problemas hacen obvio, que un aceite ha de tener estabilidad ante la oxidación, la cual puede ser mejorada con la incorporación de aditivos antioxidantes, que traten de bloquear estas reacciones de oxidación, a fin de poder prolongar el tiempo en servicio del aceite sin que esto sea perjudicial para el motor.

### Estabilidad térmica

Cuando un aceite se expone a temperaturas lo suficientemente elevadas, este se puede descomponer. Mediante el uso de aditivos, se consigue mejorar la estabilidad de los mismos, pero han de ser en las cantidades adecuadas, ya que si no podrían formar depósitos, haciendo inútil estos aditivos, ya que volvería a verse reducida la estabilidad térmica.

### Resistencia a la corrosión

En la combustión de un combustible diesel, se originan numerosos productos, como es el caso del agua, y ácidos fuertes, (proporcionalmente al contenido de azufre en la composición del combustible). Estos productos de la combustión son muy corrosivos y dañinos para el motor.

El aceite para motor está formulado para proteger contra la corrosión, especialmente para la corrosión originada por los ácidos. Para lo cual se les añade inhibidores de la corrosión, frecuentemente materiales que contienen detergentes alcalinos, los cuales tienen la propiedad de poder reaccionar y neutralizar estos ácidos a medida que se va formando.

La reserva de materiales alcalinos en un aceite puede ser expresada en términos de su TBN (Total Base Number) del aceite. Este número indica la posibilidad del aceite para neutralizar los ácidos fuertes formados y proteger contra la corrosión que estos podrían producir.

### Propiedades antidesgaste

En un motor diesel cuando está sometido a altas cargas, la película de lubricación entre las superficies de contacto podría desaparecer originando contacto directo entre las superficies metálicas, esto podría provocar un incremento de la fricción y en consecuencia un mayor desgaste.

El desgaste es especialmente delicado en las camisas del cilindro, por donde desliza el pistón con sus respectivos aros. En esta zona se producen gradientes de presión, se alcanzan temperaturas muy elevadas, existe un movimiento alternativo de velocidad variable, (siendo nula en los puntos muertos). Además la carga es variable, lo que provoca que la presión que ejercen los gases sea también cambiante.

Por lo tanto ha de tratarse de evitarse utilizando aditivos antidesgaste, los cuales hacen que el aceite forme una película química entre las superficies en contacto, la cual ayuda a soportar las altas cargas y las protege.

### Detergencia y dispersancia

Los aceites han de contener detergentes y dispersantes en su composición, con el objetivo de evitar la formación de depósitos sólidos, lacas y barnices.

Los detergentes ayudan a minimizar la aparición de depósitos en el proceso de combustión. Además ayudan a inhibir la corrosión, debido a que

estos son altamente alcalinos y actúan neutralizando los ácidos fuertes procedentes del azufre presente en la combustión.

Los dispersantes mantienen el hollín y otros contaminantes en suspensión evitando su aglomeración. Evitando de esta manera la acumulación de depósitos, principalmente en el cárter y en la zona de balancines y válvulas.

### Resistencia a la espuma

Cuando el aceite del motor es agitado, (obvio que un sistema de lubricación está continuamente en agitación) este tiende a formar espuma, especialmente si contiene contaminantes, o si su calidad no es la adecuada.

El exceso de espuma puede provocar una oxidación prematura, y si la formación de espuma se acentúa pudiera provocar problemas en la bomba y los conductos de lubricación por presencia de pequeñas burbujas, que dificulten la formación de la película de lubricación.

Por lo tanto es fundamental la presencia de agentes antiespumantes como aditivo.

[1] , [2]

## 1.2 Descripción del sistema de lubricación

El sistema de lubricación de este tipo de motor se compone como puede observarse en la figura 3, de un tanque de retorno,(sump tank) de donde aspira la bomba acoplada(1), en paralelo con esta se dispone de una bomba accionada mediante un motor eléctrico (bomba de reserva)(2), ambas poseen un filtro a la aspiración con el fin de protegerlas de cualquier tipo de objeto extraño, y una válvula de control de presión, que comunica aspiración y descarga, consiguiendo evitar así que estas se dañen.

La descarga de estas bombas va al filtro centrífugo(3), de ahí al enfriador de aceite(4), a la salida de este se sitúa la válvula de tres vías termostática (5), (la cual esta calibrada para que la temperatura a la salida sea entorno a los 60°C), y finalmente pasa por el filtro dúplex (6), y de ahí a los diferentes puntos de lubricación, cojinetes de biela, bulón, pistón, cojinetes de bancada, árbol de levas, balancines, accionamiento de las bombas de inyección, camisas.



### 1.3.1 Elementos a lubricar.

Como ya se ha comentado anteriormente, mediante la lubricación queremos reducir la fricción y por tanto evitar el desgaste prematuro de las partes en contacto, mediante la interposición de una capa de lubricante.

¿Pero cuáles son las partes dónde ha de existir esa lubricación?

La bomba aspira del tanque de retorno (cárter seco) y se encarga de lubricar:

-Cojinetes principales.

-Cojinetes de cabeza de biela.

-Cojinetes de pie de biela.



Fig.4 Disposición de los cojinetes (fuente: MS Motorservice Aftermarket Ibérica)

-Eje de camones y accionamiento rodetes las bombas de inyección.

-Balancines y guías de válvulas.

-Toberas para lubricación de piñones de accionamiento de las bombas acopladas de refrigeración (HT,LT) y de lubricación.

-Toberas de lubricación de la distribución del motor (timing gear train).  
(números 4,5 y 6 de la siguiente fig.5)

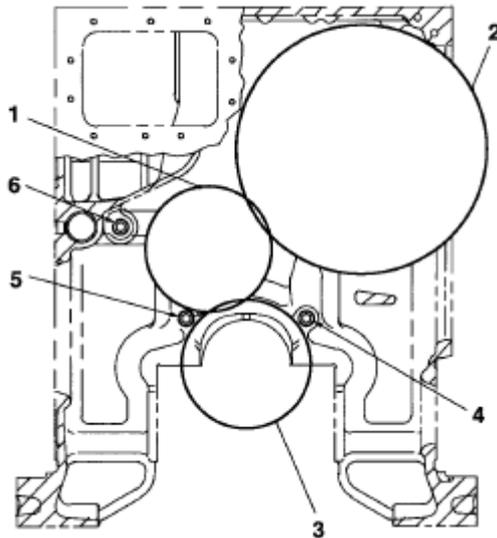


Fig.5 Posición de las toberas de lubricación de engranes (fuente manual de operación y servicio MAK)

-Turbosoplante, (mediante una reductora de presión, que reduce la presión de aceite a  $2 \text{ kg/cm}^2$ )

-Lubricación entre aros y camisa: aquí la lubricación es más complicada debido a las siguientes causas:

La velocidad variable, de los aros, (pistón) siendo nula en los puntos muertos.

La carga variable a la que se someten los aros, siendo la presión de los gases diferente en función de la carga del motor.

Las altas temperaturas que se encuentran en esta zona.

Por lo cual es de vital importancia los segmentos de engrase, estos lubrican el interior de la camisa y minimizan la fricción. Del correcto estado de estos dependerá la cuantía del engrase, poco aceite, implicará alta fricción y alto desgaste y mucho engrase provocara acceso de éste a la cámara de combustión originando residuos. [1]

### 1.3.2 Los cojinetes

Como ya se comentó anteriormente en el apartado de antecedentes, el motor permaneció parado, durante un largo periodo de tiempo, lo que hacía prever que el mantenimiento realizado no fue el más adecuado.

De esta manera y aún estando lejos de las horas para realizar las inspecciones de los cojinetes, (de acuerdo al manual las tareas de comprobación de los cojinetes sería a las 30.000horas de funcionamiento, y el motor estaba próximo a las 20.000horas).

Con esta comprobación podremos hacernos una idea del estado de la máquina, y asegurarnos una operatividad mucho mayor, evitando posibles fallas de muy graves consecuencias, que pondrían en jaque la operatividad, seguridad del buque y de los tripulantes.

Los cojinetes de fricción son elementos que sirven de apoyo a los ejes, adaptándose entre el eje y el soporte o bancada. Contribuyen a disminuir el rozamiento que se produce entre las superficies rozantes, gracias al material del que están compuestos y a la lubricación entre ambas partes, amortiguando vibraciones, ruidos y choques.

En cuanto a las características de los cojinetes, las más importantes son las siguientes: presentan gran superficie de lubricación, son sencillos en su construcción, e instalación, especialmente en este caso donde no tenemos mucho espacio para su instalación. La fricción que se produce

entre el eje, apoyo y el cojinete, produce desgaste de las partes en contacto, una de las características que ha de presentar el cojinete en su composición es que ha de ser de un material más blando que el propio eje, a fin de sacrificarse este en detrimento del eje (es obvio que es mucho más sencillo y económico sustituir un par de cojinetes, que un eje de cigüeñal o camones).

La función principal de los cojinetes es absorber y transmitir las fuerzas entre componentes en dos componentes en movimiento, minimizando la fricción y el reduciendo el desgaste. Esta fricción hace necesaria la película de lubricación entre cojinete y muñón, además de disipar el calor que se genera. Sin esta película de lubricante habría contacto directo y fricción, generando un desgaste.

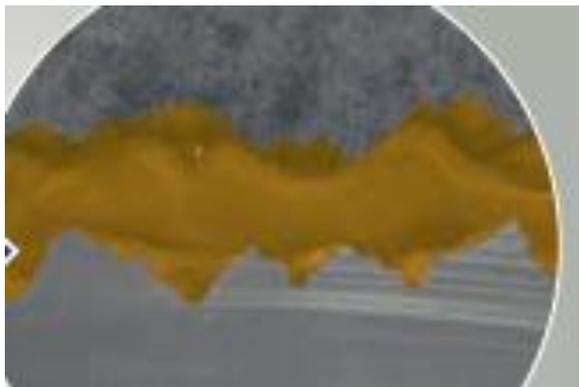


Fig.6 Recreación de la película de lubricación, fuente: MS Motorservice Aftermarket Ibérica

Los cojinetes de fricción hidrodinámicos la película de lubricación portante se genera debido al movimiento relativo, pasando por una zona de fricción mixta, hasta que se alcanza un número determinado de revoluciones. En el caso de que las revoluciones no sean suficientes; como en el caso del arranque, la fuerza hidrodinámica no es capaz de separar las superficies en contacto, lo que puede provocar una fricción que puede dañar el cojinete. Por lo cual se necesita una prelubricación que trate de disminuir este problema, ya que solo al aumentar de revoluciones se consigue reducir las fuerzas de fricción y así formar la película de lubricante permanente, que provoca una fricción fluida que hace que ambas superficies (cojinete y muñón) permanezcan separadas.

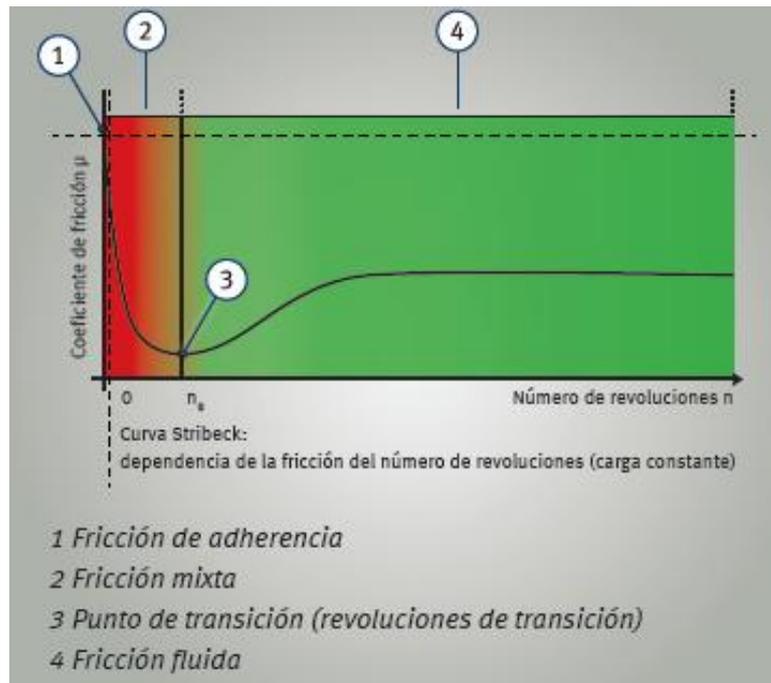


Fig. 7 Tipos de fricción, (fuente MS Motorservice Aftermarket Ibérica)

La lubricación de los mismos se consigue mediante las bombas de aceite, si la película de lubricación es la adecuada, y la prelubricación es la adecuada, se puede asegurar una longevidad de los cojinetes muy elevada.

Los cojinetes constan de varias partes, una capa de hasta 10mm de grosor, parte trasera, generalmente de acero, y otra parte la parte de rodaje, de un grosor entre 0.7 y 1.1mm, de aleación aluminio/estaño.

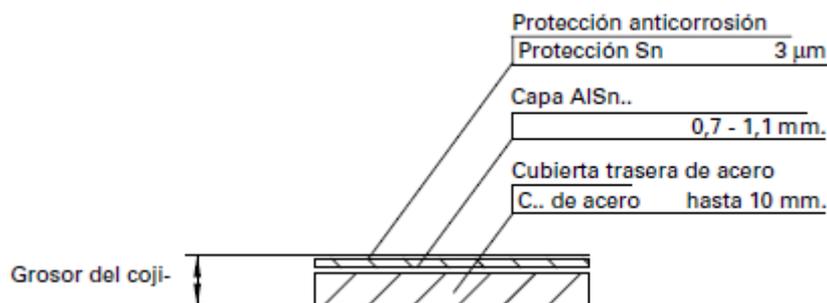


Fig.8 Composición de los cojinetes antifricción (fuente MaK, manual de operación y servicio)



Fig.9 Recreación de la estructura de los cojinetes (fuente MS Motorservice Aftermarket Ibérica)

Los cojinetes de cabeza de biela unen la biela con el cigüeñal. Estos se disponen en dos semicojinetes superior e inferior, estos últimos se someten a un esfuerzo notablemente mayor, ya que conducen al cigüeñal la fuerza de la combustión (movimiento descendente del pistón), mientras que los primeros soportan el esfuerzo de inercia.

El cigüeñal descansa en los cojinetes de bancada, también formado por dos mitades, semicojinete inferior y superior, el inferior se somete al esfuerzo que genera la combustión, transmitido por la biela. El semicojinete de bancada superior dispone de orificios para la lubricación, procedente del cigüeñal y de ahí va hacia los cojinetes de biela, cabeza y pie, respectivamente.

Para poder absorber los esfuerzos axiales se montan cojinetes axiales.



Fig.10 Representación fuerzas que soporta el cigüeñal (fuente: MS Motorservice Aftermarket Ibérica)

[3] y [4]

### 1.3.3 Sistema de depuración de aceite de lubricación del motor principal.

En un motor diesel es fundamental el tratamiento que se le da a la aceite y más aún si este está utilizando combustibles intermedios o pesado para realizar la combustión; este caso que nos ocupa, el combustible que alimentará el motor será un IFO180, lo cual hará imprescindible el uso de depuradoras, ya que únicamente con filtros centrífugos, la calidad y propiedades del aceite se verán mermadas en un plazo más corto de tiempo.

La separación puede realizarse por un lado, para separar del aceite las partículas sólidas y por otro para separar el agua, ya que el aceite y el agua son insolubles.

Mediante el uso de las depuradoras, se realiza una separación centrífuga, consiguiéndose mediante el giro del rotor, este al girar a gran velocidad, provoca que las partículas más pesadas vayan a la periferia. Esta separación es mucho más rápida y eficaz que una sedimentación en un tanque, que se conseguiría gracias a la diferencia de densidades y al efecto de la gravedad.

La depuradora está diseñada para separar el lubricante, del agua y de las partículas sólidas (lodos). El aceite limpio es descargado continuamente, mientras que los lodos, se descargarán a intervalos de tiempo.

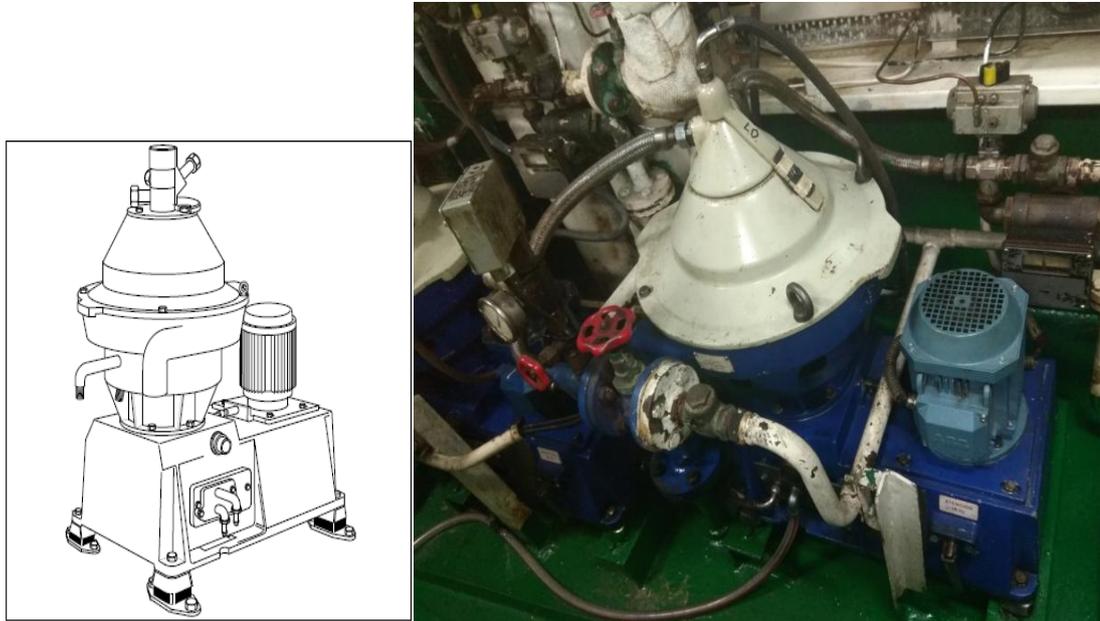


Fig.11 Depuradora de aceite. (Fuente propia)

El bolo (B) de la depuradora es movido por medio de un motor eléctrico (G) por medio de una correa (K), que une los dos ejes, depuradora (F) y motor, este último tiene enchabetaado al eje un acoplamiento de fricción (I), mediante pastillas de ferodo, evitando así sobrecargas, especialmente el proceso de arranque.

En el bolo se sitúan los diferentes platos (G, 62 platos). La apertura del bolo, y con ello la descarga de lodos, se consigue mediante el agua de operación.

El eje (F) se encuentra taladrado situándose en el interior una placa, que al girar impulsa el líquido a (373) del pequeño tanque situado en la parte inferior del mismo: agua de cierre del bolo.

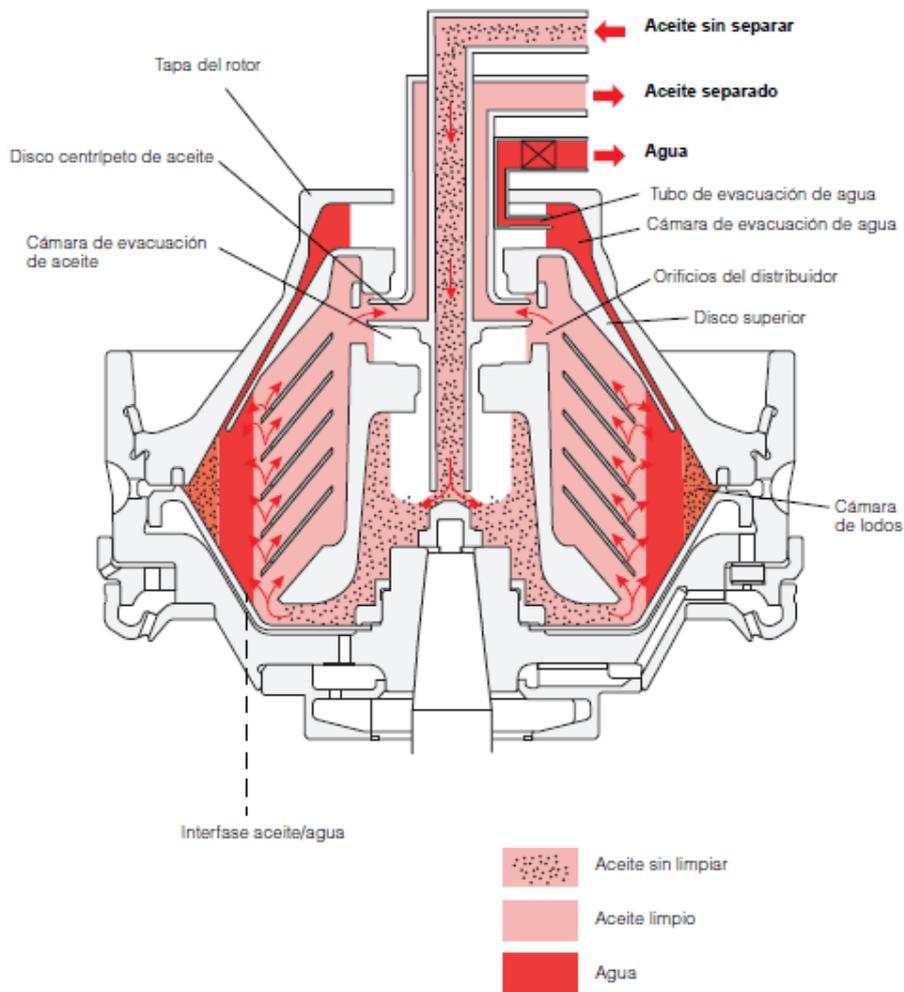


Fig.12 Fases de la separación del aceite (fuente: AlfaLaval separation system, MMPX303)

El proceso de separación tiene lugar en el bolo, cuando este se encuentra girando, el aceite a depurar es introducido por la entrada (201) situado en la parte central y cuando alcanza el distribuidor (T) se distribuye hacia la periferia pasando entre el paquete de discos (G) . Mientras que el aceite limpio, ya depurado, asciende por el paquete de discos, hasta alcanzar la cámara de sellado (U) sale por la salida (220) impulsado por el paring disc/disco de separación (F).

Los lodos y el agua, cuya densidad es superior a la del aceite, se distribuyen en la periferia del bolo, y pasan al exterior del paquete de discos hasta alcanzar el disco superior y el disco de gravedad (k) saliendo al exterior de la depuradora y de ahí al tanque de lodos (221).

Las impurezas más pesadas son recogidas en el espacio de lodos (H) dentro del bolo, situado en la parte exterior del paquete de discos, y descargados en intervalos de tiempo, por los orificios situados en el bolo (L), al tanque de lodos.

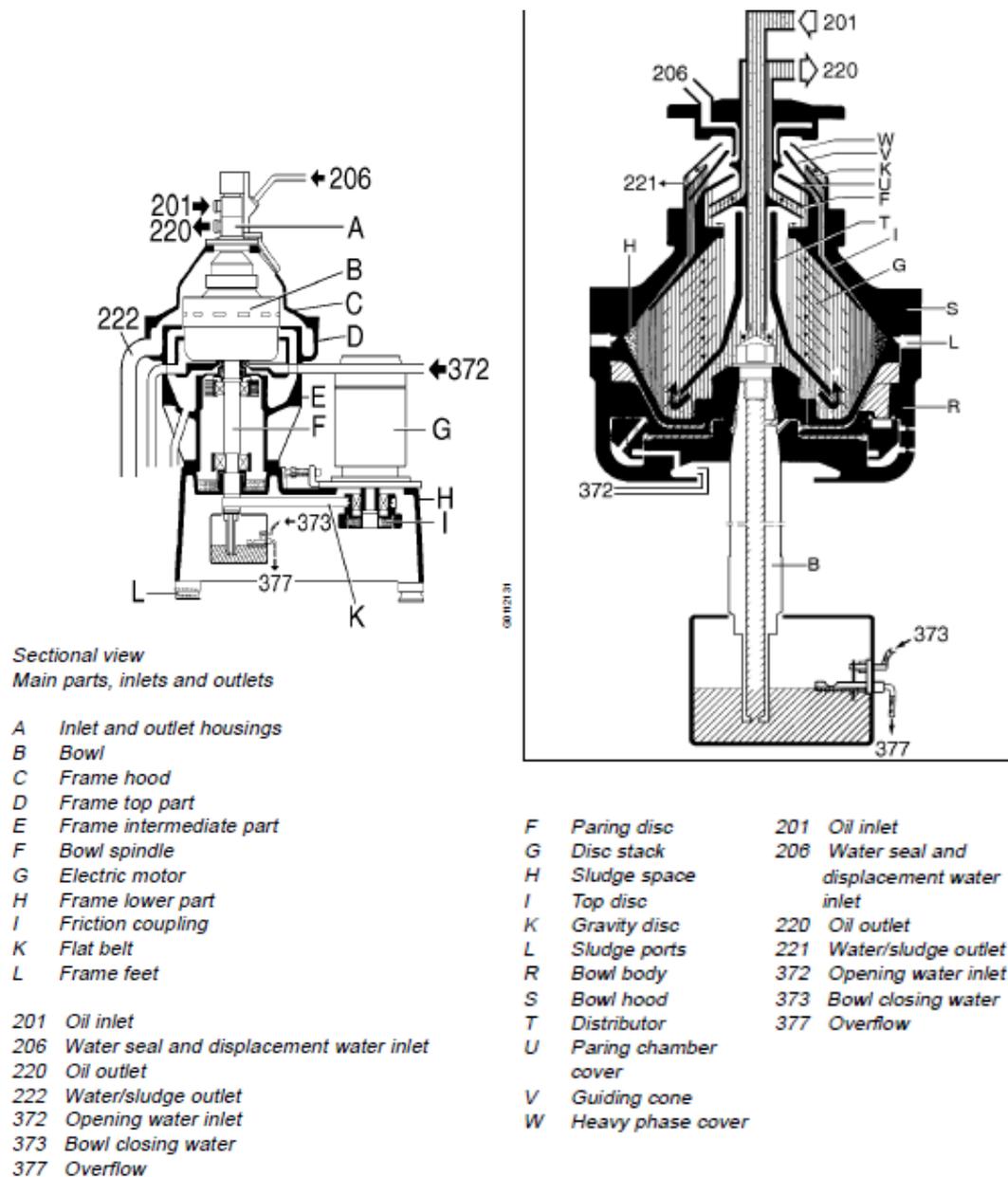


Fig.13 Elementos del bolo. (fuente: AlfaLaval separation system, MMPX303)

El sistema de depuración de aceite, es como se muestra en la Flg.14:

La bomba de alimentación de la depuradora (11), aspira directamente del tanque de retorno de aceite, esta bomba, (bomba de tornillo, un eje conductor y dos conducidos), suministra un caudal de aceite de  $1,3\text{m}^3/\text{h}$ . En su aspiración dispone un filtro(1514), de ahí va a al calentador (1556), el cual elevará la temperatura a fin de facilitar la separación, de ahí pasará a la válvula neumática de tres vías, la cual en función de su posición abrirá paso a la depuradora, o recirculará al tanque de retorno.

En el caso que este el programa en funcionamiento, el aceite sin depurar entrará en la depuradora, y se limpiará (como ya hemos visto) saliendo el aceite limpio ya depurado de nuevo al tanque de retorno.

En el arranque, la descarga de lodos o cuando el PLC de la depuradora detecte alguna anomalía, se desactivara la solenoide de paso de aire a la válvula tres vías, cambiando esta de posición y retornando el aceite al tanque de retorno, sin pasar por la depuradora.

La descarga de lodos se producirá a intervalos de tiempo, (mediante el agua de maniobra), abrirá el bolo, y descargará el espacio (H) mencionado anteriormente, este residuo irá directamente al tanque de lodos situado bajo la sala de depuradoras,

[5]

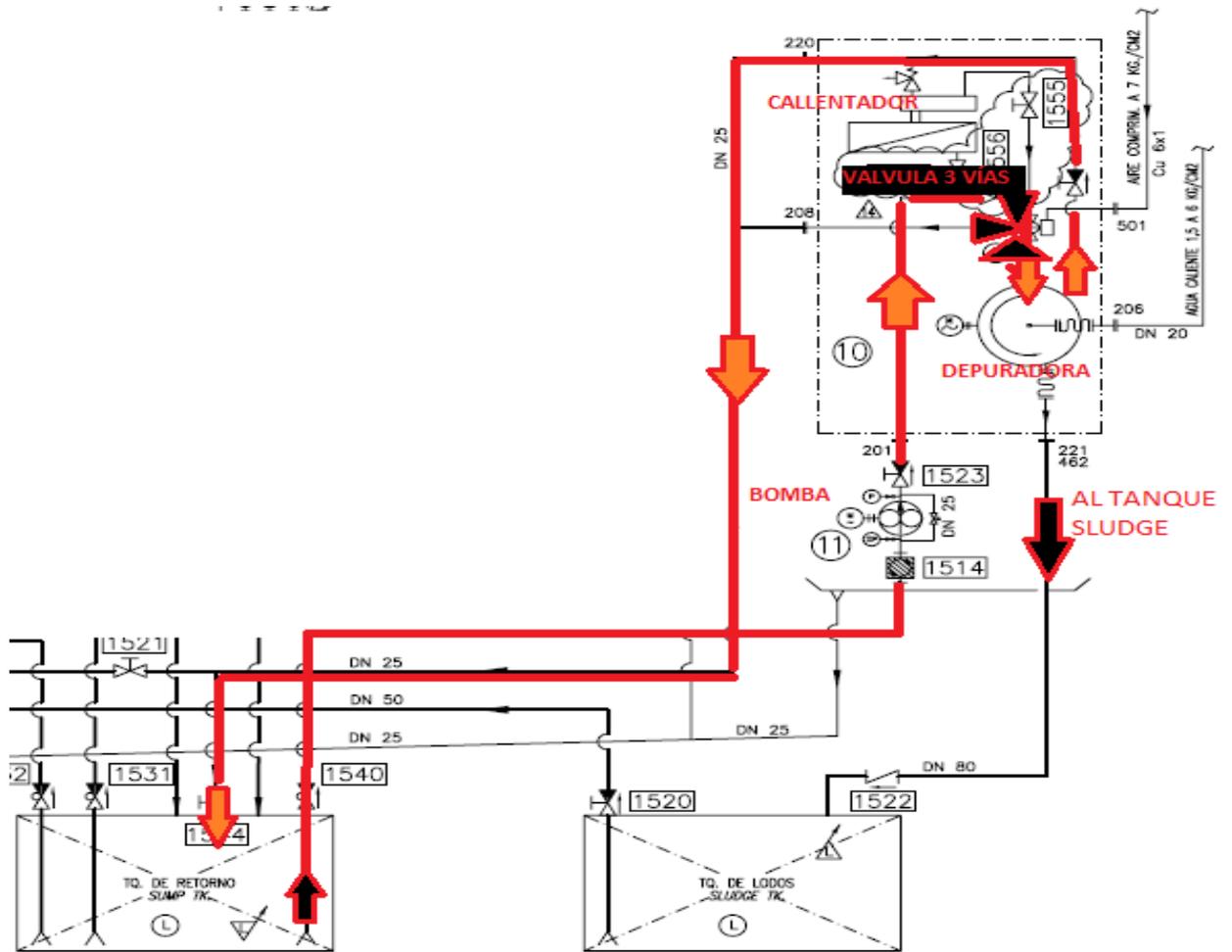


Fig.14 Esquema de depuración de aceite de motor principal.

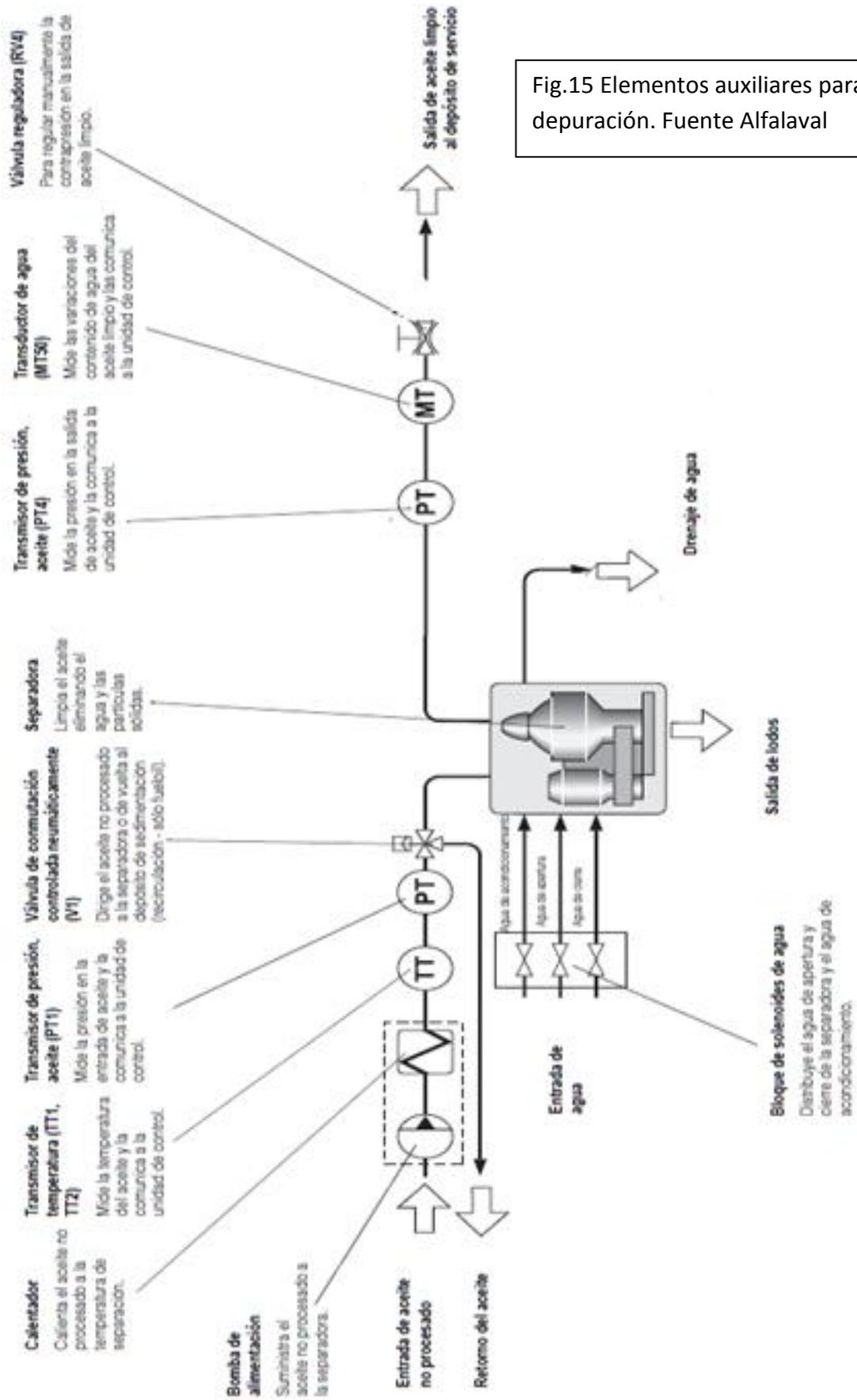


Fig.15 Elementos auxiliares para la depuración. Fuente Alfalaval

## **2. METODOLOGÍA**

En este apartado vamos a tratar de definir como realizaremos la comprobación del estado de los cojinetes, a su vez analizaremos las características del lubricante, y el sistema de depuración, (cabe destacar que este último se encontraba fuera de servicio, por lo tanto trataremos de ver cuál era el problema y como su puso en funcionamiento la depuradora de aceite).

### **2.1 Cojinetes cabeza de biela.**

Como se ha comentando en el apartado anterior es de vital importancia el estado de estas partes, por lo tanto se procede a desmontar e inspeccionar los mismos, a fin de minimizar los serios problemas que se podrían originar si estos no se encontraran en correctas condiciones.

#### **2.1.1 Desmontaje cojinetes cabeza de biela, (Big-end bearing)**

Partiendo de la situación que el motor se le está realizando un overhaul, y que ya están desmontadas, alguna partes, como es el caso de las culatas.

La secuencia de desmontaje será la siguiente:

-Se quitaran las tapas del cárter.

-Se engranará el virador con el objetivo de poder virar el motor, y dejar la biela (5) en posición (aprox. 20° antes del punto muerto superior PMS-TDC)

-Se desmontan uno de los dos pernos superiores (1) de la biela y los dos inferiores (3).

-Ahora ya está en disposición de sacar la parte inferior de la cabeza de biela, sombrerete (2), para ello, una vez asegurada esa parte, procederemos a ir aflojando poco a poco el pero superior (1) y cuando este esté completamente aflojado, la parte inferior de la cabeza de biela estará libre.

-Ahora ya podemos proceder a sacar los cojinetes antifricción. Para ello seguimos los siguientes pasos:

-Seguimos virando el motor hasta el punto muerto alto.

-Colocamos el útil (W1), soporte del pistón (piston holding device).

-Y seguidamente continuamos virando el motor, con cuidado, hasta que el pistón asiente sobre el soporte.

-Ahora los cojinetes antifricción ya están libres y podemos extraerlos para su inspección.

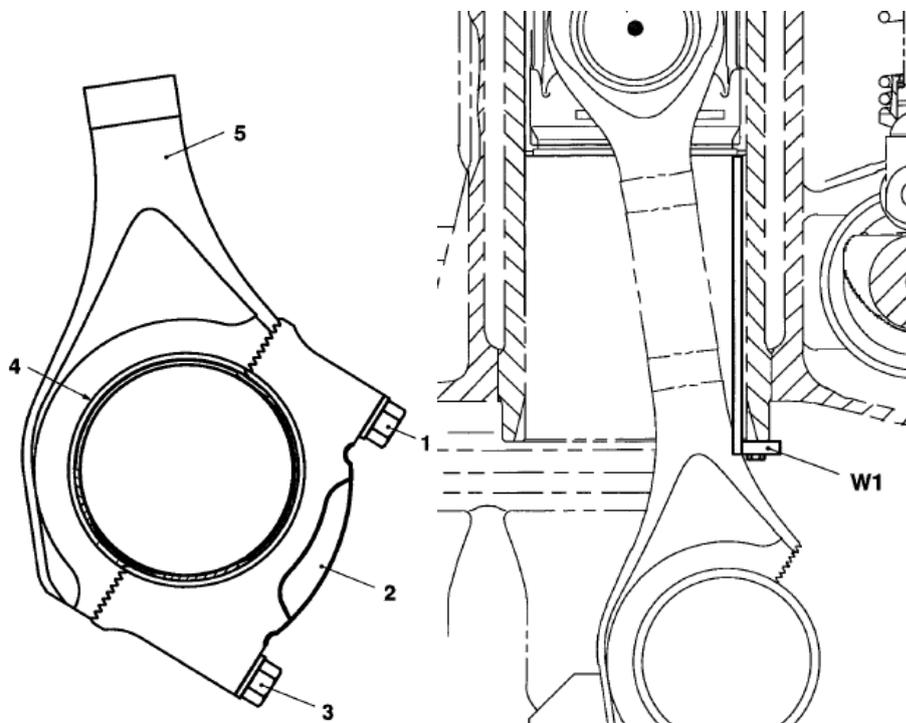


Fig.16.Biela y colocación del útil W1, fuente manual MAK

### 2.1.2 Comprobación de la holgura axial del cojinete de empuje:

El cojinete de empuje (thrust bearing) está situado en el primer cojinete del cigüeñal, consta de de dos anillos espaciadores(1), dispuestos en dos mitades, (stop disc segments) cuya función es limitar el juego axial del cigüeñal.

Los espaciadores de la parte inferior se fijan por medio de pines (2), como se observa en la figura siguiente.

Se comprobara la holgura axial total con unas galgas. La holgura total (S) es la suma de S1 + S2.

$$S = S_1 + S_2$$

Clearance when new mm	Clearance limit mm
0.3 - 0.6	0.8

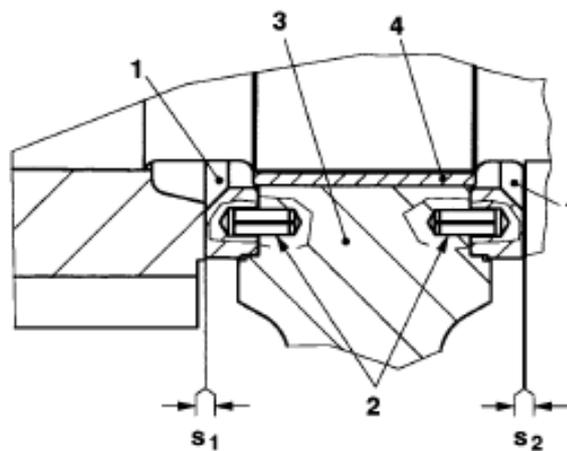


Fig.17.Comprobación holgura axial. Fuente Mak Operation and service manual

Si se encontrase fuera de tolerancia, habría que proceder a la sustitución de los espaciadores(1) y de los antifricción(4).

### 2.1.3 Montaje de los cojinetes de cabeza de biela

- Nuevamente con el cigüeñal en la posición, 20 ° antes del punto muerto alto, (TDC), se lubrican los cojinetes que se van a instalar, tanto interior como exteriormente.

-El alojamiento para el pin (representado con “X” en la figura), ha de quedar del lado del colector de escape, es decir en la banda de babor, mirando popa a proa.

Ahora nos ayudaremos del útil W7 (gancho para alojar los cojinetes)

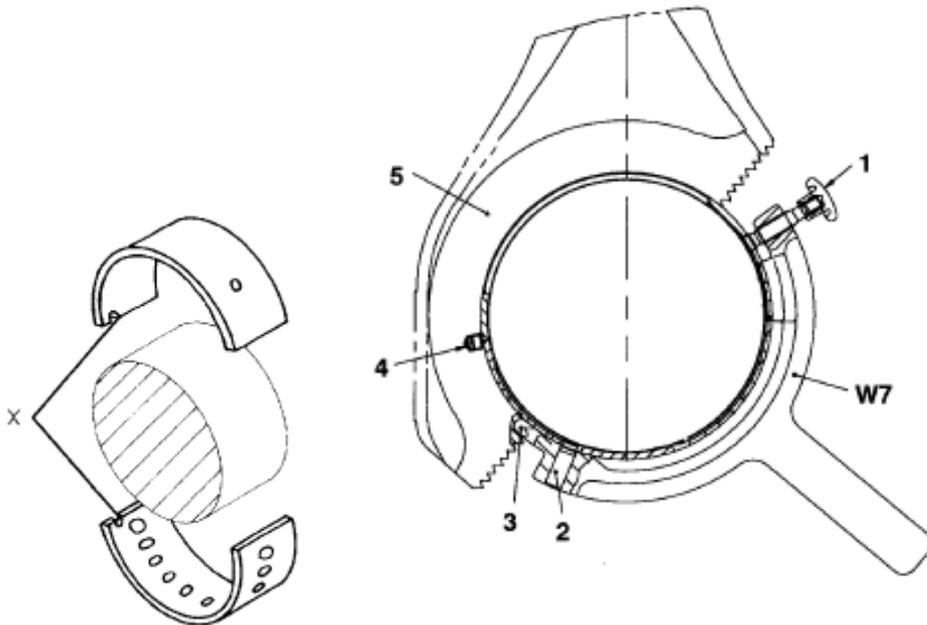


Fig.18 Utilización útil W7, para el montaje de los cojinetes cabeza de biela. (fuente MAK)

## 2.2 Cojinetes de bancada

### 2.2.1 Desmontaje de los cojinetes de bancada:

-Mediante el virador, se virara el motor hasta dejarlo en una posición adecuada para poder acceder a las tuercas redondas (12) de los pernos (13) del cigüeñal.

-Se aflojaran las tuercas (12) por medio del tensionador hidráulico, (útil W1.2).

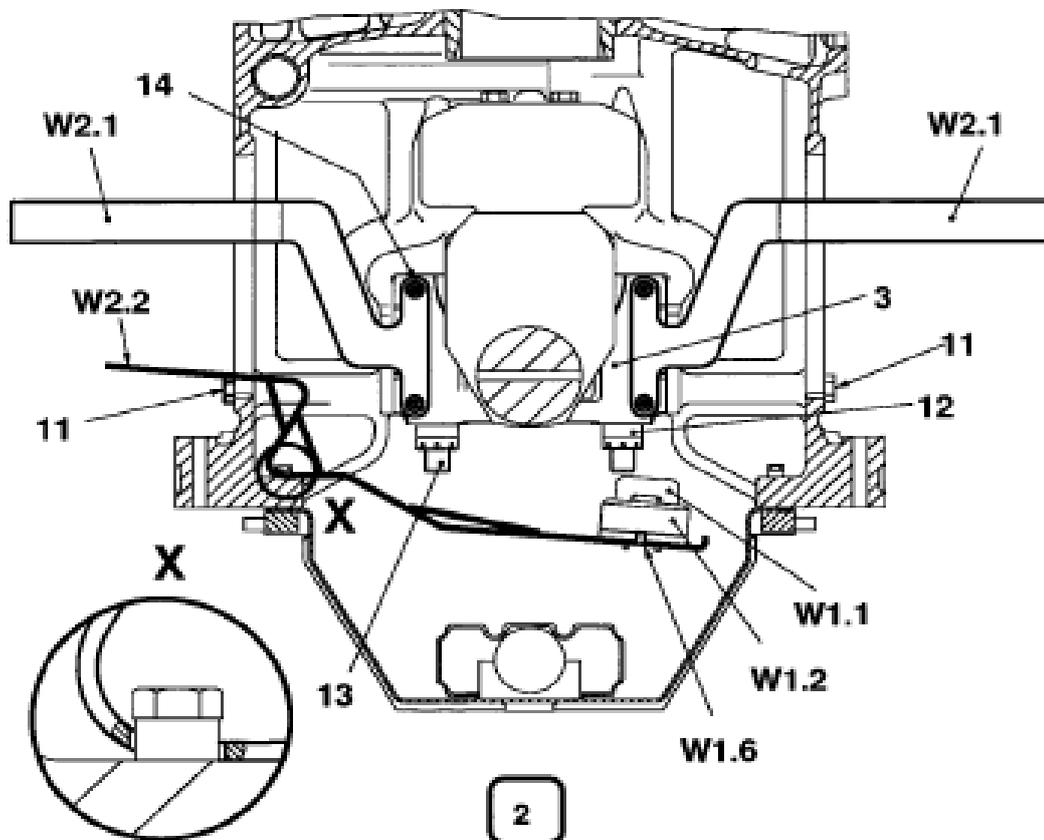


Fig.19 Colocacion del soporte W2.1 (fuente MAK)

-Se sacaran los pernos (11) situados a ambos lados del motor

-Se colocara útil soporte W2.1, en la posición indicada en la figura 19.

-Se coloca el tensionador hidráulico, a fin de poder liberar las tuercas(12), mediante presión hidráulica de 980bar, útiles W2.2, W1.6, W1.22 y W1.1, una vez se alcance la presión indicada de 980bar, se procederá a girar antihorario/aflojar las tuercas (12) al menos 8 orificios, mediante el pin (W1.5)

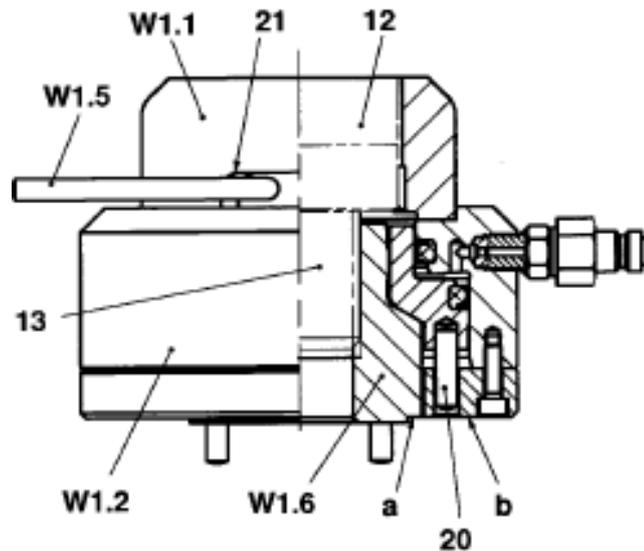


Fig.20Detalle del tensionador, (fuente MAK)

-Si no fuese posible aflojar las tuercas(13), se elevará la presión hidráulica, no debería de sobrepasarse en 50bar, si el par de apriete, fuere el correcto.

-Se aflojaran los pernos (11) de los cojinetes adyacentes.

-Se asegurará el soporte/útil W2.1m mediante la grúa o polipasto.

-Se aliviará la tensión del tensionador W1.2.

-Ya pueden ser desmontadas las tuercas redondas (130.)

-Una vez desmontadas las tuercas, ya es posible sacar la cubierta del cojinete, con la ayuda de la grúa.

-Se virará el motor, de forma que el contrapeso se mueva hacia el lado donde se sitúan las bombas de inyección (estribor), hasta que podamos sacar el cojinete antifricción (bearing shell).

-Utilizando el útil W2.3, se introduce en el orificio de engrase de cojinete, y girando el mismo conseguiremos liberar el otro cojinete.

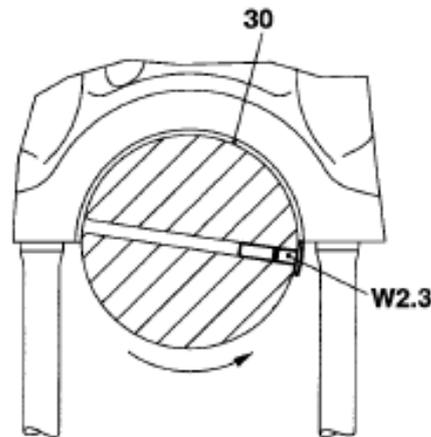


Fig.21 Utilización útil W2.3, (fuente MAK)

### 2.2.2 Comprobación de la holgura de bancada (K)

Una vez aflojados los pernos (11) de los cojinetes de bancada adyacentes, se procederá a aflojar las tuercas redondas (12), siguiendo el procedimiento anteriormente explicado con ayudada de la presión hidráulica. Una vez estas este aflojadas y girando libres, se apretarán alternativamente y poco a poco ambas hasta que ambas toquen de nuevo el asiento (este “apriete”, se realizará a mano, ya que no queremos dejar apretadas, sino que lo que queremos es poder medir la holgura de la bancada.)

Ahora ya estamos en disposición de medir la holgura de la bancada a ambos lados, como se muestra en la figura siguiente.  $K_a$  y  $K_s$ .

Siendo la holgura total la suma de ambas, ( $K = K_a + K_s$ )

Gap "K" mm	Operating limit value mm
0.80 - 1.07	0.65

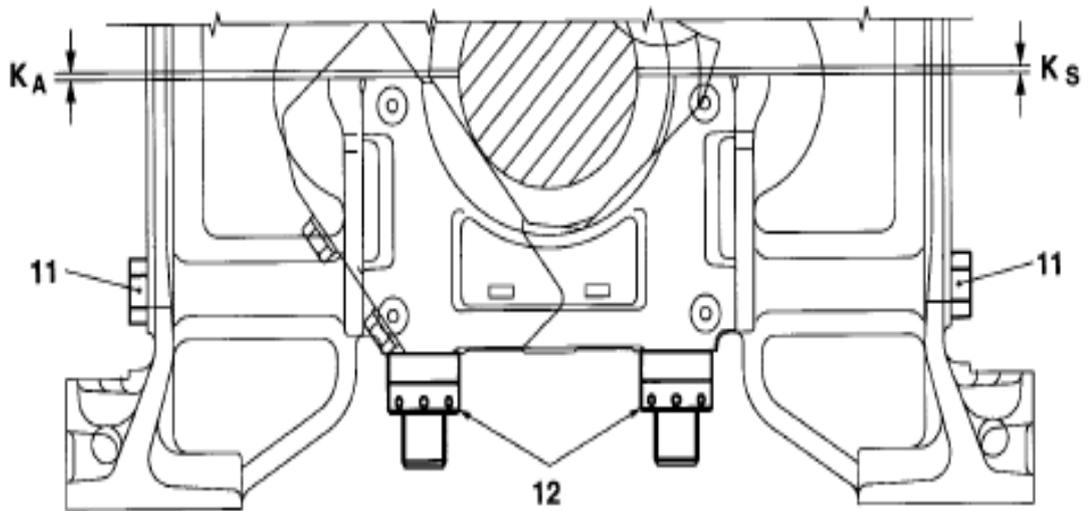


Fig.22 Comprobación holguras de bancada. (fuente MAK)

### 2.2.3. Montaje de los nuevos cojinetes de bancada (bearing shells)

El cojinete antifricción superior (upper bearing shell), es el que tiene los orificios para la lubricación, se lubrica con aceite de motor, la parte interior de contacto.

Ahora con la ayuda de los útiles se procede al montaje del cojinete inferior (lower shell bearing), con el carrier, W2.3, y con el W2.4 (útil para el montaje del cojinete/ assembly device)

-Poco a poco y con ayuda de la grúa levantaremos hasta que el soporte W2.4, hasta que toque con la otra parte del cojinete, (mostrado en la figura como "X").

-Se procede a apretar alternativamente, a mano las tuercas redondas (round nuts, 12)

-Giraremos en sentido horario (visto de popa a proa) el cojinete superior (upper shell bearing) fijándonos que este esté en las cajas.

-Se retiran las tuercas redondas (12, round nuts) y se baja nuevamente con la ayuda de la grúa el conjunto.

-Se retiran los útiles W2.3 y W2.4.

Proceso de reapriete.

-Se vuelve a virar nuevamente con ayuda de la grúa hasta tocar nuevamente con la tapa de bancada (representado con "x", en la figura).

-Se aprietan nuevamente, de manera alterna las tuercas redondas (13), primero a mano, y luego mediante el pin.

-Se desmontan los soportes W2.1 (support arms)

-Se vuelven a montar los pernos de apriete. Prestando atención al estado de las roscar, y aplicándole a grasa correspondiente (Molykote G-rapid plus) y realizaremos el apriete alternativo en tres etapas, con el uso de la llave dinamométrica.

1ªetapa---par de apriete 140Nm.

2ªetapa---par de apriete 420Nm.

3ªetapa---par de apriete 670Nm.

-Finalmente con ayuda de la tensionadora hidráulica, realizaremos el apriete de la tuercas redondas (12), presión hidráulica de apriete de 980 bar.

Para ello mediante la bomba manual, bombearemos hasta alcanzar esa presión, una vez alcanzada , apretaremos las tuercas redondas (12), una vez apretadas, reduciremos un poco la presión del tensionador, (unos 25-50bar) y comprobaremos que es imposible aflojar las tuercas ahora, esto es indicativo, que el proceso de apriete se realizó correctamente.

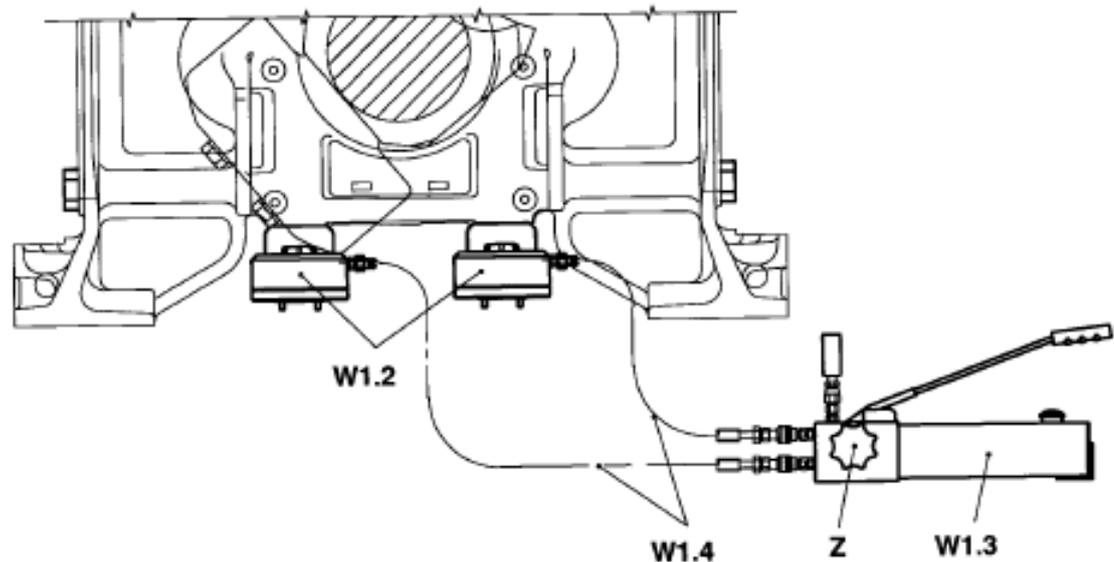


Fig.23 Apriete hidráulico de los pernos.(fuente MAK)

Una vez realizadas todas el montaje comprobaremos que haya paso de aceite por los cojinetes, con ayuda de la bomba de lubricación de reserva.

Engranaremos el virador y observaremos cuidadosamente, que no haya ninguna anomalía.

## 2.3 Cojinetes del árbol de levas (camshaft bearings)

Se realiza la inspección de los cojinetes del árbol de levas, de acuerdo al programa de mantenimiento del fabricante (MaK). El cual nos indica que debemos inspeccionar el cojinete correspondiente al cilindro nº1, y la superficie de contacto de del árbol de levas con el cojinete.

El tiempo de mantenimiento es de 30.000horas, se decide adelantar esa comprobación a las 20.000horas, por no tener referencia del anterior mantenimiento que debió de haberse realizado a las 15.000horas.

El árbol de levas no es que sufra en exceso los cambios de carga del motor. El cojinete que sufre es el inferior.

Para su inspección, en primer lugar procederemos a desmontar los balancines de la unidad número 1, y su adyacente de proa, es decir el número 2.

Se aflojan los tornillos (1), se va virando el motor, con la finalidad de poder alojar los otros tornillos, que están situados detrás de la leva.

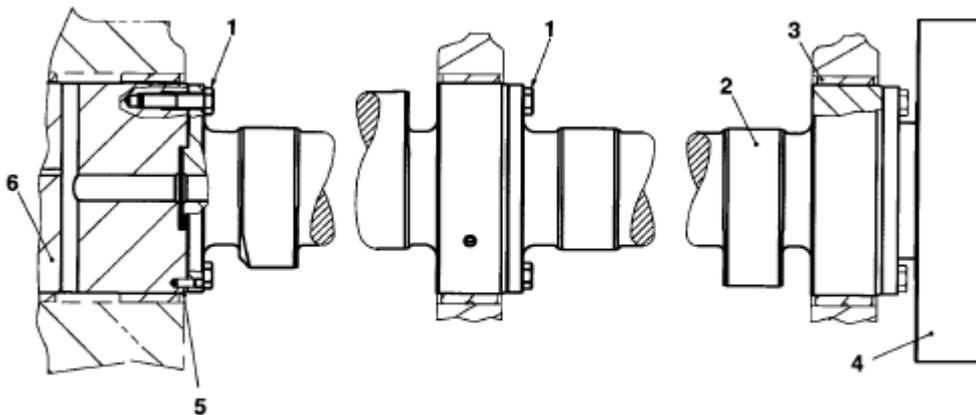


Fig.24 Detalle del eje de levas, (fuente MAK)

Finalmente se vira hasta dejar el motor, en la posición en que la leva accionaría la bomba de inyección, (justo después del punto muerto alto, PMS de ese cilindro).

Se monta la placa (44) y se fija con el tornillo (43) y la tuerca (42).

Ahora está en disposición de montar el útil, (W3), se monta en el bloque como se muestra en la figura siguiente. Se fijará la distancia (s) a  $50 \pm 0.5\text{mm}$ . Ahora con cuidado se procederá a ir apretando poco a poco, la tuerca de manera que se vaya acercando la placa (41).

Finalmente ya estamos en condiciones de inspeccionar el cojinete antifricción, en caso de que este estuviera en malas condiciones lógicamente habría que sustituirlo.

En caso afirmativo, habría que aflojar el tornillo (37), y se empujara el cojinete hacia el lado izquierdo del motor, con ayuda de un tozo de madera, teflón o material blando.

Una vez desmontado el cojinete comprobaremos que no hay signos de rozaduras o desgaste, en la superficie deslizante del eje.

Finalizado esta inspección/ sustitución se procede al montaje, en secuencia inversa al desmontaje. (Con la única salvedad que habría que apretar el tornillo (20), con un par de apriete de 120 Nm.)

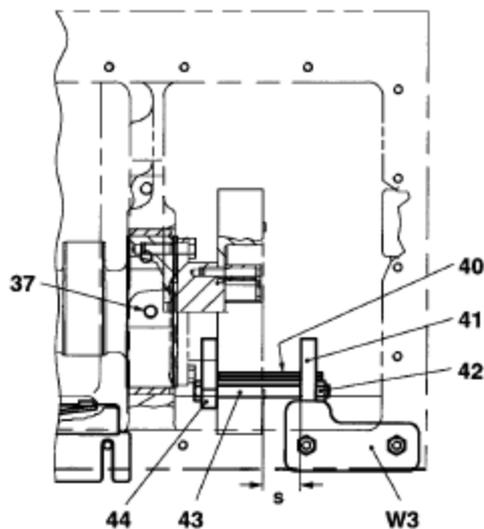


Fig.25 Colocación y fijación del útil W3 (Fuente MAK)

## 2.4. Análisis del sistema de depuración de aceite.

El sistema de depuración de aceite se encontraba fuera de servicio, presentaba numerosas pérdidas y se decide a comprobar todo el circuito de depuración, comprobando desde los filtros de la bomba, (además de las cuantiosas pérdidas, había una presión en la bomba insuficiente).

En cuanto a la depuradora, se realizara un intermédiaire service, y un major service, así como una comprobación exhaustiva de todas las partes, con el fin de volver a poner en servicio a la depuradora.

Se desmonta la bomba, (bomba de tres tornillos helicoidales, uno conductor y dos conducidos) con el fin de corregir las pérdidas por los sellos, sustituyendo estos, y se comprueba el correcto estado de los impellers helicoidales, y de los rodamientos, se ajusta el tornillo de regulación de presión (el cual no permitía un caudal suficiente, ya que bypaseaba la descarga de la bomba)

En cuanto al calentador de aceite, este no consigue alcanzar la temperatura necesaria para la correcta alimentación a la depuradora, saltando al poco tiempo la seguridad.

Es necesaria la sustitución del termostato, que controlan la temperatura de separación, tanto de arranque y parada, (tarando los mismos para que las resistencias funciones en un rango próximo a las 90°C, regulando la entrada en funcionamiento del calentador, cuando la temperatura del aceite cae por debajo de los 82°C y parando las resistencias cuando exceda los 92°C y situando el termostato de parada en un valor de 102°C.).

Válvula de 3 vías neumática: esta válvula no consigue cambiar de forma permanente, por lo cual se sospecha de un fallo en el suministro de

aire, se comprueban y subsanan todas las pérdidas en los racores de conexión, pero sigue fallando.

Se desmonta y se observa que tanto que el émbolo está muy deteriorado.

Se decide a sustituir esa parte y se comprueba que ahora funciona con normalidad. Cambiando de posición rápidamente y permaneciendo estable en la posición requerida.

Bloque de válvulas de maniobra de agua: Se limpia el filtro encontrándose este con muchos depósitos calcáreos y restos de metales, procedentes de la línea de alimentación.

Se prueba el suministro de agua de acuerdo al manual alfalaval de la depuradora.

Siendo los consumos de agua muy diferentes a los requeridos según manual:

Agua de sello y desplazamiento---- 5.5 L/min

Agua de apertura del bolo-----18 L/min

Agua de cierre-----0.9 L/min

Lo que da indicios a pensar en depósitos calcáreos en los orificios calibrados de las diferentes válvulas. Se desmonta y se observa que también los diafragmas se encuentran en mal estado, muy endurecidos, perdiendo flexibilidad, y una de ellas con algún agrietamiento, con lo cual se decide a sustituir los tres diafragmas.

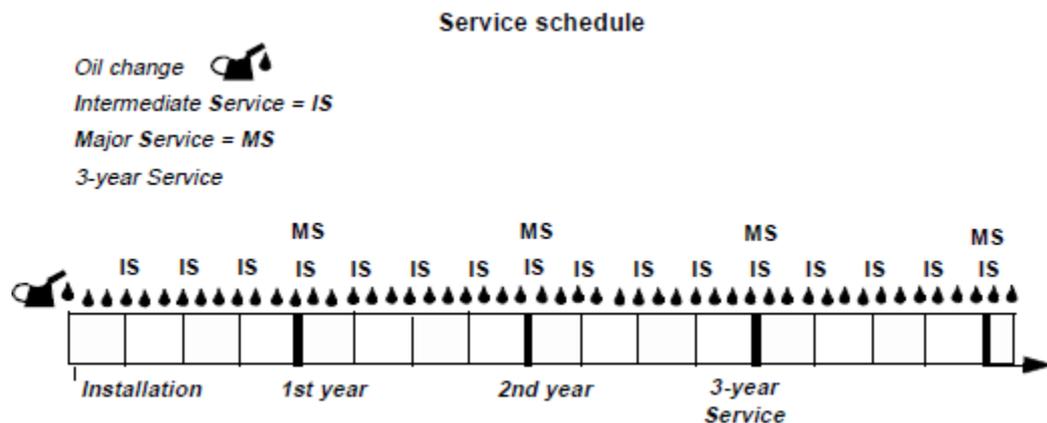
Tras estas comprobaciones ya estamos en disposición de realizar los trabajos en la propia depuradora. Como se ha comentado anteriormente se van a realizar los mantenimientos tanto intermedio como mayor.

Los trabajos incluyen la limpieza de todas las partes, especialmente los platos. Y la sustitución de todas las juntas y anillos tóricos, estos se encuentran en el kit intermedio de mantenimiento. En cuanto al kit “mayor”, este es principalmente para la parte del eje e incluye sellos, y rodamientos, siendo estos últimos causa de vibraciones y de mal funcionamiento de la depuradora.

En la siguiente figura podemos observar cómo se distribuyen los diferentes mantenimientos.

El “IS” intermediate service, habría que realizarlo cada tres meses, o 2000hr de funcionamiento. También se realiza el cambio de aceite.

El “MS” major service, cada 12 meses, o 8000horas de funcionamiento, dentro del “MS”, a los tres años habría que realizar el mantenimiento de la correa y los elementos de fricción, y rodamientos del eje vertical. Así como la comprobación de los silentblocks donde descansa la depuradora, que pueden endurecerse con el tiempo, perdiendo capacidad de absorción de la vibración.



A continuación en los siguientes esquemas se pueden observar las piezas intercambiadas, tanto para el kit intermedio (IS) como para el “Major” (MS).



**DANGER**

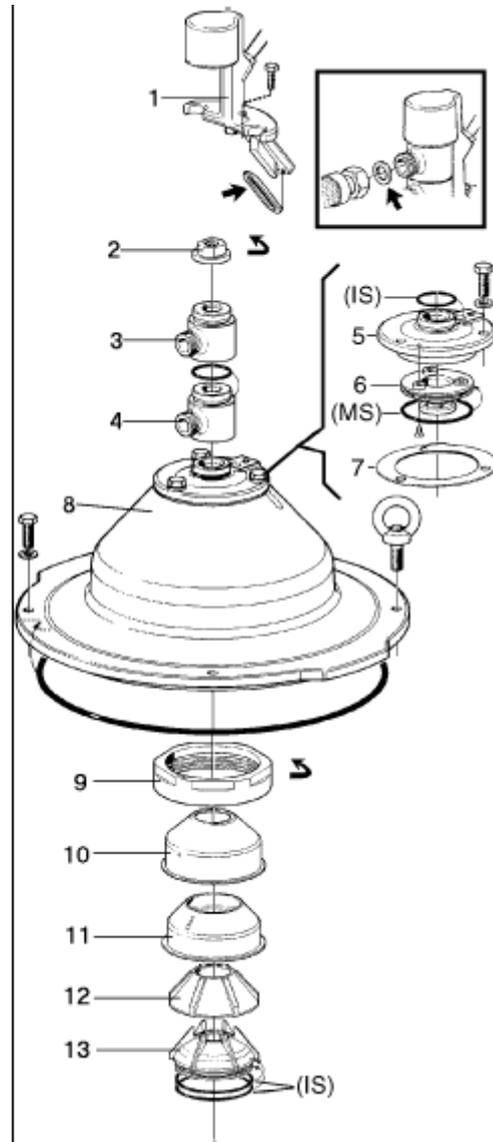
Entrapment hazard

To avoid accidental start, switch off and lock power supply before starting any dismantling work.

1. Safety device
2. Nut
3. Inlet housing
4. Outlet housing
5. Connecting housing\*
6. Insert
7. Height adjusting ring
8. Frame hood
9. Lock ring
10. Heavy phase cover
11. Gravity disc/Clarifier disc
12. Leader cone
13. Paring chamber cover

\*The connecting housing is removed from the frame hood top at paring disc adjustment (Major Service).

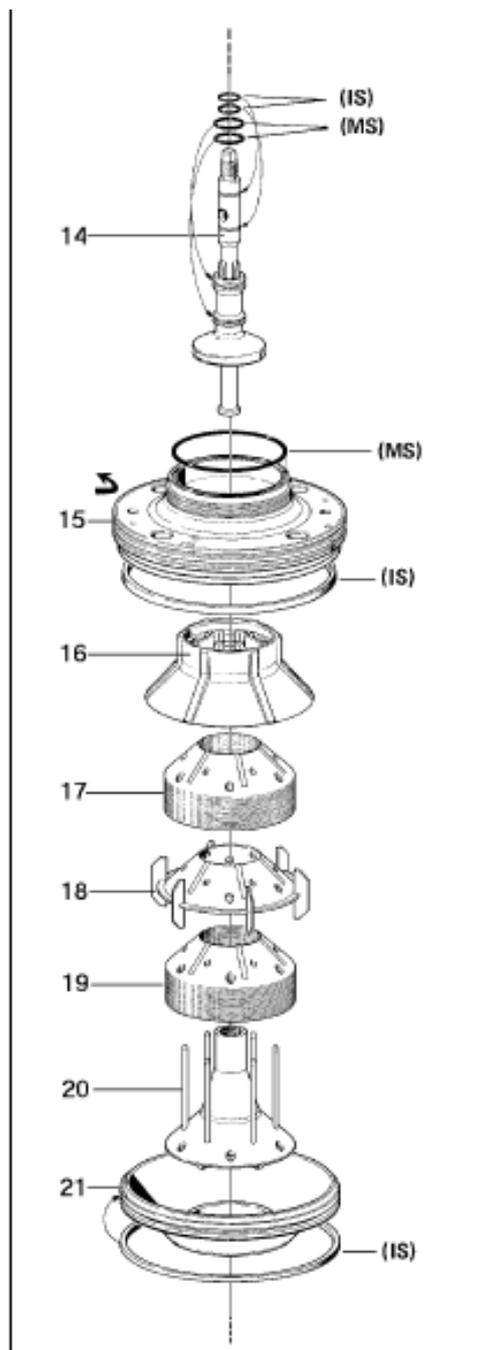
↺ Left-hand thread

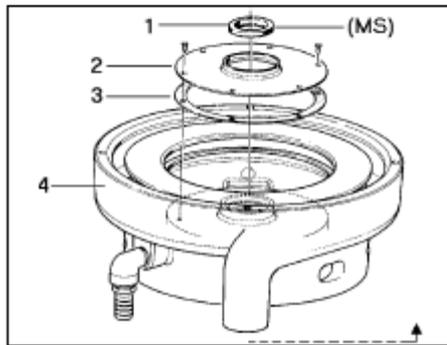


- 14. Inlet pipe
- 15. Bowl hood
- 16. Top disc
- 17. Bowl discs
- 18. Wing insert
- 19. Bowl discs
- 20. Distributor
- 21. Sliding bowl bottom

➤ Left-hand thread

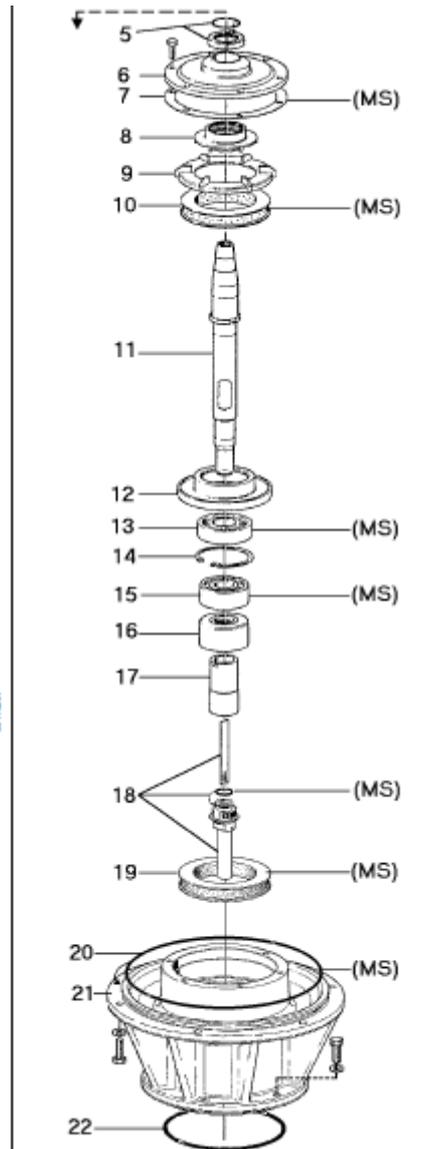
IS Intermediate service kit  
MS Major service kit





- |                      |                         |
|----------------------|-------------------------|
| 1. Lip seal ring     | 12. Ball bearing holder |
| 2. Screen            | 13. Ball bearing        |
| 3. Gasket            | 14. Snap ring           |
| 4. Frame, top part   | 15. Ball bearing        |
| 5. Deflector ring    | 16. Oil pump            |
| 6. Top bearing cover | 17. Belt pulley         |
| 7. Gasket            | 18. Pump sleeve         |
| 8. Fan               | 19. Rubber buffer       |
| 9. Buffer holder     | 20. O-ring              |
| 10. Rubber buffer    | 21. Frame, intermediate |
| 11. Bowl spindle     | 22. O-ring              |

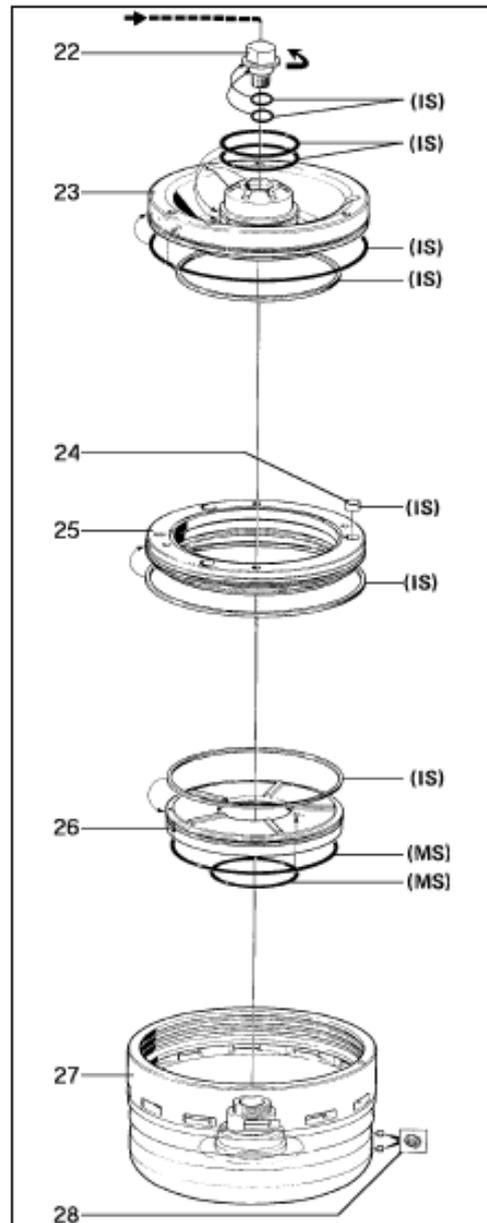
MS Parts to be renewed at Major Service



- 22. Cap nut
- 23. Upper distributing ring
- 24. Valve plug
- 25. Operating slide
- 26. Lower distributing ring
- 27. Bowl body
- 28. Nozzle

➤ Left-hand thread

IS Intermediate service kit  
MS Major service kit



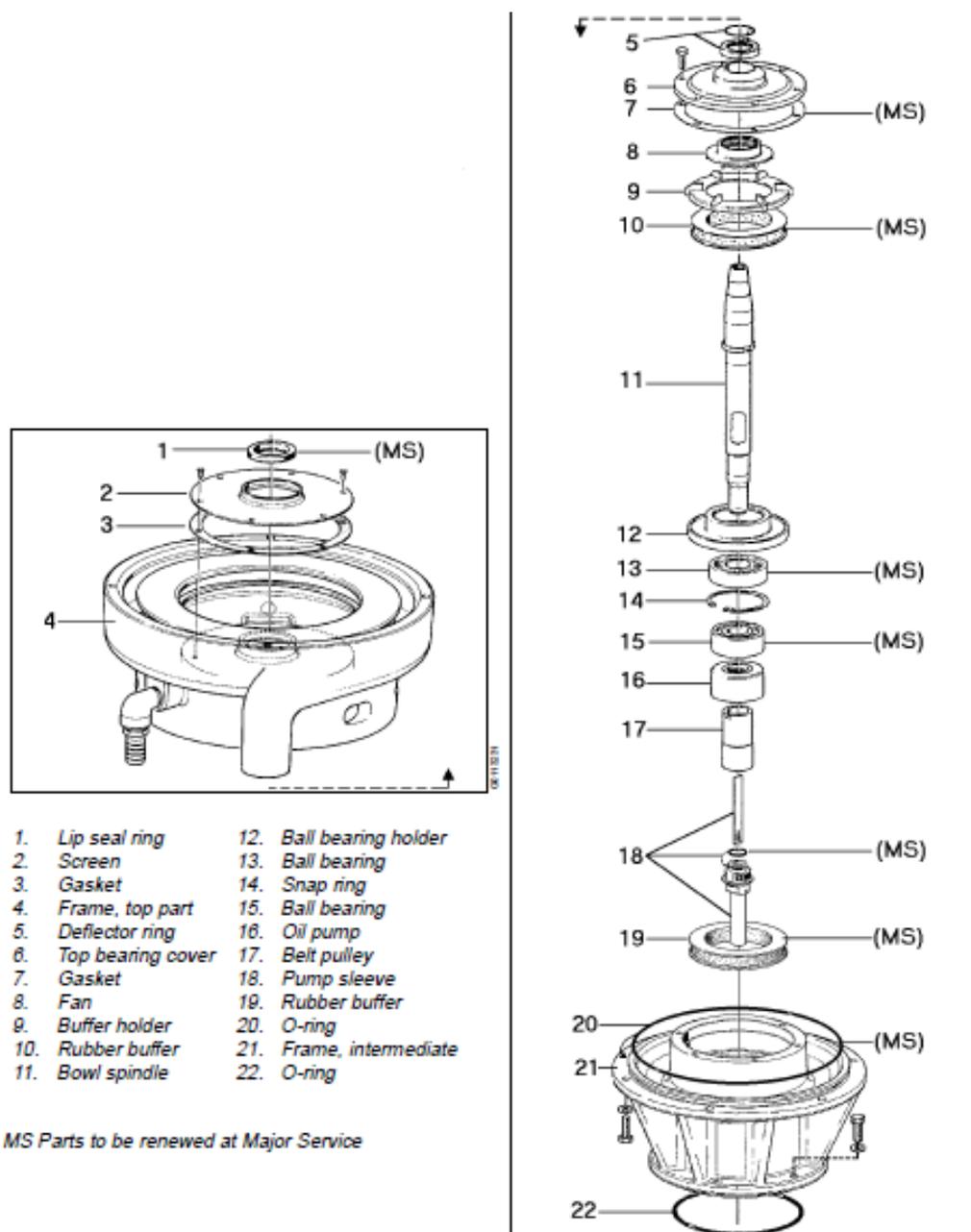
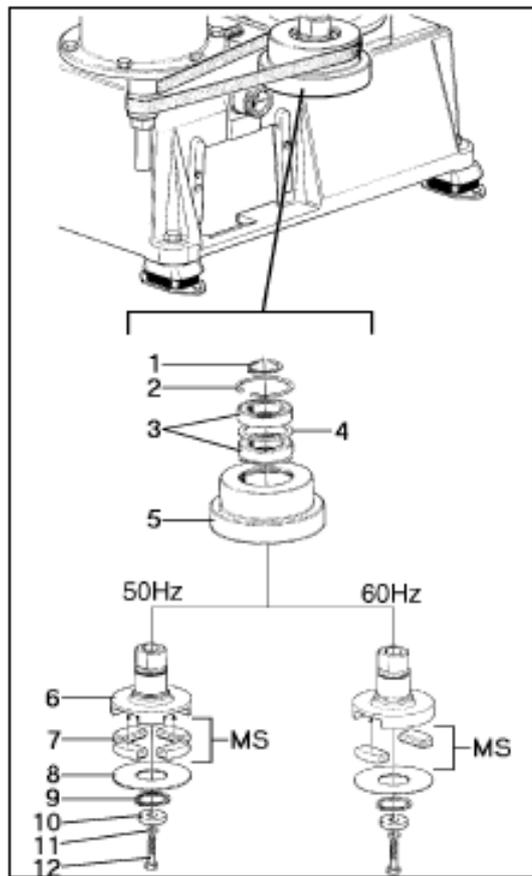


Fig.26 Depieza depuradora aceite. (fuente AlfaLaval separation system, MMPX303)

Especial atención ha de presentarse al acoplamiento de fricción, este es el encargado de transmitir el giro del motor eléctrico al eje vertical de la depuradora, (mediante correa). La depuradora tardaba bastante en alcanzar la velocidad de régimen de funcionamiento, lo cual era indicio de que algo estaba mal en este mecanismo, se comprobó que estaban bastante desgastadas los pastillas de ferodo y la presencia de grasa que dificultaba su correcto funcionamiento.

Se sustituyen estas pastillas, incluidas en el MS, así como la propia correa, la cual se renueva y se le realiza ajuste de la tensión correcto.



- 1 Snap ring
- 2 Snap ring
- 3 Ball bearings
- 4 Washer
- 5 Belt pulley
- 6 Coupling hub
- 7 Friction element
- 8 Cover
- 9 Snap ring
- 10 Washer
- 11 Spring washer
- 12 Screw

Fig.27 Detalle elementos de fricción y correa,(fuente AlfaLaval separation system, MMPX303)

Tras el mantenimiento realizado al eje vertical, comprobamos con ayuda de un comparador la holgura que presenta el eje, a fin de comprobar que lo hemos instalado correctamente. Siendo este ligeramente inferior a los 0.02mm, por lo tanto esta dentro de la tolerancia que nos fija el fabricante.

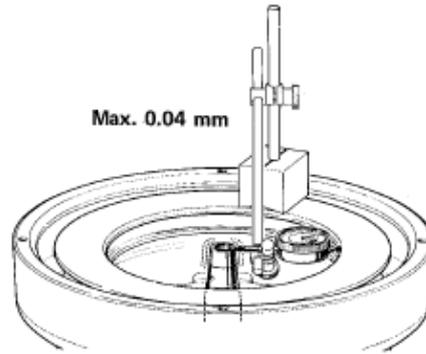


Fig. 28. Comprobación de holgura (fuente AlfaLaval separation system, MMPX303)

Especial atención habría que prestar a la altura del “paring chamber cover”, ya que durante el desmontaje se encontró esta parte con marcas de rozaduras, por no respetar la altura adecuada.

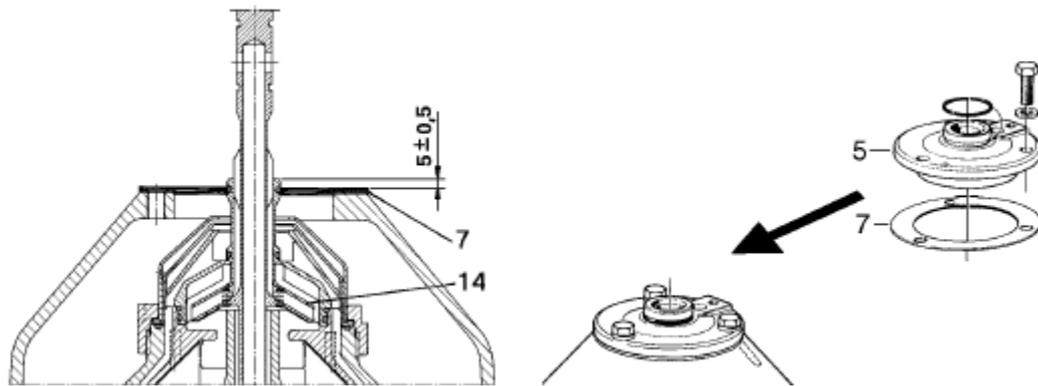


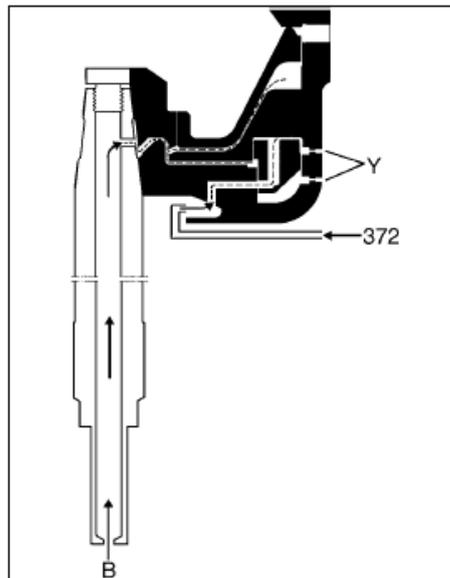
Fig.29 Comprobación altura “Paring cover” (fuente AlfaLaval separation system, MMPX303)

Por lo tanto medimos la altura, tal como se observa en la figura anterior, y observamos que la distancia no es la correcta, por lo tanto añadimos otro anillo espaciador más (7), y ya nos encontramos dentro de las cotas de  $5 \pm 0.5$  mm

También se aprovecha para sustituir el aceite. (periodo de cambio cada 2000hr, o una vez por año).

Una vez realizadas estas operaciones de mantenimiento y sin llegar a las 1500horas de servicio se observa que en las depuradoras hay muchos

incrustaciones de cal en el eje vertical (B) y en diferentes partes, donde está presente el agua para la maniobra, (como se observa en la siguiente figura) teniendo que ser desmontada para limpiar las toberas y el eje vertical hueco, por donde se alimenta el agua. A fin de subsanar este problema de incrustaciones, se instala unos filtros de polifosfatos que reducen considerablemente este problema y permiten alargar el periodo de mantenimiento a las 2000hrs, sin problemas previos.



Supply of opening water and closing water  
 372 Opening water  
 B Closing and make-up water through bowl spindle  
 Y Nozzles

Fig.30 Proceso de agua de maniobra (fuente AlfaLaval separation system, MMPX303)

Otro factor importante es la elección del disco de gravedad, este es el que nos permite situar la posición de la interfase, junto con la presión de descarga, que puede ser regulada manualmente en la válvula a la salida de aceite limpio de la depuradora, (esta la situaremos en un valor en torno a la 1.8 bar).

La elección del tamaño del disco de gravedad será de acuerdo al monograma y a la densidad del aceite en este caso MobilgardM440, d densidad a 15°C, de 915Kg/m<sup>3</sup>. Y con una temperatura de separación de 90-95°C. El flujo aproximando es de 1,3m<sup>3</sup>/h.

Ayudándonos del monograma que se muestra a continuación obtenemos como resultado 61mm de diámetro interior, con lo cual sustituiremos el que había inicialmente que era de 66mm.

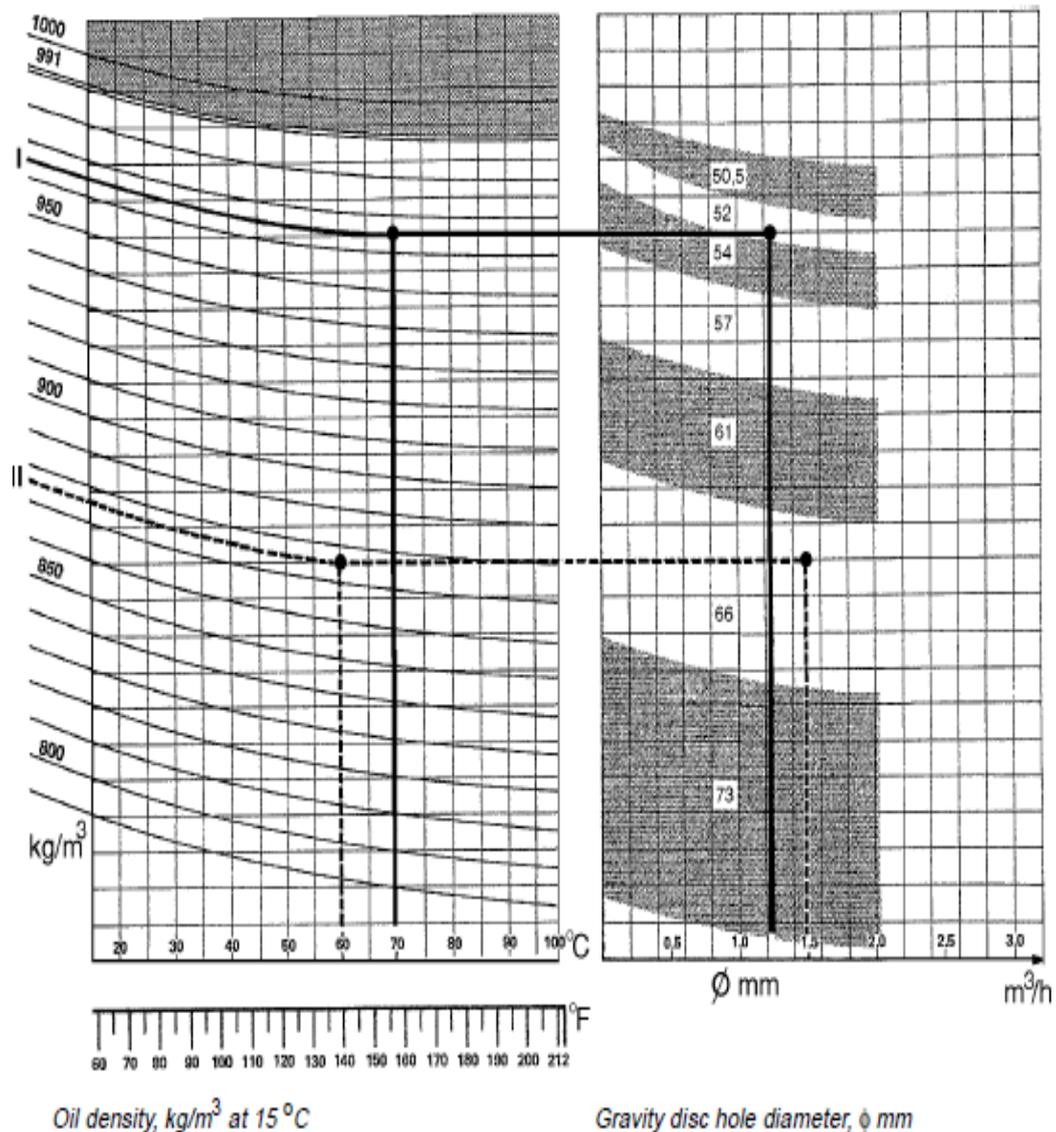


Fig.31 Monograma para la obtención del diámetro del disco de gravedad. (fuente: AlfaLaval separation system, MMPX303)

Tras realizar el overhaul a la depuradora y comprobar el funcionamiento de todos los elementos auxiliares, estamos en disposición de empezar a purificar el aceite del motor principal.

[5]

## 2.4. Análisis del aceite.

En múltiples casos mediante el análisis del aceite lubricante usado podemos intuir muchos de los problemas que dan origen a serios problemas, con lo cual con los análisis de aceite y con un archivo histórico de los mismos, podemos prever los problemas que de otra manera no sabríamos, quizás hasta que fuera demasiado tarde.

Por lo tanto el análisis de las muestras de aceite, ofrecen una información importante y precisa de un motor, y de su grado de fiabilidad. Cada día es más habitual el análisis de aceite, dentro de un programa de mantenimiento, ya que como se ha comentado anteriormente es una herramienta de prevención eficaz, y accesible.

Una de las cosas más triviales y a su vez un error bastante común, es las tomas de muestras. La toma de muestra de aceite debe efectuarse con cuidado, ya que una pequeña muestra ha de ser representativa de todo el conjunto de aceite en servicio. Por lo tanto ha de reflejar con exactitud las características que tiene el aceite en servicio.

Por lo tanto han de seguirse las siguientes indicaciones:

- Tratar de tomar las muestras siempre desde el mismo punto, y con un número de horas significativo. Si la muestra es periódica sería conveniente tomar más o menos en la misma frecuencia, y que ésta esté próxima al cambio.

Por ejemplo un motor que se realiza el cambio de aceite cada 500horas, sería conveniente realizarlo; en la medida de lo posible, a las 400-500 horas, (evitar tomarlas muy pronto. Y a fin de poder comparar históricamente los valores, siempre con el mismo número de horas parciales)

- Los recipientes a utilizar han de estar limpios y secos, y si no se usan los propios del kit de muestras, por alguna razón, tratar que estos no tengan restos de otros aceites, agua, o suciedad que nos pudiera enmascarar los resultados del análisis.
- Las muestras han de estar perfectamente identificadas para evitar cualquier error. (para ello se suele disponer de etiquetas).
- Los envases para el análisis deben enviarse al laboratorio lo antes posible.
- Las muestra debe tomarse cuando el aceite este en circulación y en condiciones normales de funcionamiento, si esto no fuese posible debe tratar de obtener una muestra lo más parecida, (por ejemplo al poco de parar el equipo).
- En general y en la medida de lo posible, las muestras han de ser tomadas de la impulsión de la bomba, y en un punto cercano a la misma.

### **2.4.1 Valores límite y factores que afectan**

#### VISCOSIDAD:

- Determina el rango de temperaturas a las que puede funcionar el aceite.
- Condiciona la capacidad de ser bombeado y conducido a todos las partes del motor.
- Afecta a la resistencia de la capa de lubricación.

- Factores que modifican el valor de la viscosidad:

Disminución de la viscosidad:

- Dilución por combustible en el aceite.
- Reposiciones erróneas de aceite con viscosidad menor.

Aumento de la viscosidad:

- Alta concentración de productos insolubles.
- Oxidación del aceite.
- Reposiciones erróneas de aceite con viscosidad superior.

-Valores límites medios:

El valor de la viscosidad no debe ser un 25% superior al aceite nuevo, ni debe ser un 15% inferior.

### PUNTO DE INFLAMACIÓN:

- El valor inicial está relacionado con la viscosidad del aceite nuevo.
- Si baja la viscosidad, también baja el punto de inflamación.
- Factores que alteran el punto de inflamación:

El descenso del punto de inflamación de un aceite en servicio, indica la presencia de combustible en el aceite.

- Valores límites medios:
  - El valor del punto de inflamación de un aceite nuevo para motores diesel esta en torno a los 230°C.
  - Un descenso del punto de inflamación, que se reduzca hasta los 200°C puede considerarse aceptable.
  - Descensos hasta los 180°C son considerados como “Alerta” y puede significar la presencia de combustible en el aceite.
  - Si el descenso alcanza los 150°C, muestra una presencia notable de combustible en el aceite, por lo que habría que subsanar el origen del problema y sustituir el aceite de inmediato.
  - Si el descenso es por debajo de 150°C, el punto de inflamación es alarmante, y podría originar una explosión en el cárter.

#### DILUCIÓN POR COMBUSTIBLE:

- El nivel de dilución está relacionado con la cantidad de combustible en el aceite en servicio.
- Diluciones superiores a un nivel determinado pueden causar una marcada disminución de la viscosidad del aceite. Esto podría producir un desgaste excesivo en los cojinetes y acelerar una posible avería.
- Factores que determinan la presencia de combustible en el aceite:

- El origen de estos problemas proviene de un sistema de combustible con algún tipo de avería, (inyectores, bombas de inyección, retenes, juntas...)
- Valores límites medios:
  - Diluciones hasta un 1,5% son aceptables.
  - Diluciones hasta un 3 % son sinónimo de aleta, ya que denotan la presencia de combustible en el aceite.
  - Diluciones hasta un 5% indican una presencia notable de combustible y habría sustituir el aceite.
  - Diluciones superiores al 5% se consideran alarmantes, habría que inspeccionar el sistema de combustible y subsanar ese problema y lógicamente sustituir ese aceite en servicio.

### CONTENIDO EN AGUA

Su efecto sobre el aceite es muy perjudicial, ya que forma emulsiones, que dificulta una lubricación correcta, también provoca herrumbre y corrosión en diferentes elementos del motor y en los circuitos de lubricación.

- Factores que determinan la presencia de agua:
  - Condensación del vapor cuando el motor deja de funcionar.
  - Pérdidas de fluido refrigerante, que comunica con el circuito de lubricación.

- Valores límite medios:
  - No debe exceder el 0.2%, (es muy poco probable que por condensaciones puedan darse concentraciones superiores al 0.2%)
  - Si el valor es 0.5%, habría que hacer especial hincapié en el proceso de depuración de aceite, o ir renovándolo, por adicción de nuevo lubricante.
  - Si el agua de procedencia es salada, con valores en torno al 0.1% ya son suficientes para optar por el cambio de aceite.

#### ALCALINIDAD (T.B.N- NÚMERO BASE TOTAL)

El número base total indica la propiedad del aceite a neutralizar los ácidos producto de la combustión y oxidación del aceite.

Se expresa en miligramos de KOH necesarios para neutralizar los componentes ácidos, que se encuentran en un gramo de aceite.

- Factores que determinan una disminución del TBN:
  - Alto contenido de azufre del combustible.
  - Oxidación del aceite (debido principalmente a alta temperatura del mismo).
  - Presencia de compuestos derivados de la combustión.
  - Degradación de los aditivos detergentes por contaminación con agua.

- Valores límites medios:
  - El TBN de un aceite en servicio va disminuyendo respecto al original, a medida que se prolonga su tiempo en servicio.
  - El valor límite no debe superar el 50% del valor original, superado este valor es altamente recomendable su sustitución. No se debe dejar agotar este valor por la aparición de depósitos y productos altamente corrosivos.

### INSOLUBLES TOTALES

La formación de depósitos en el motor es el resultado de someter al aceite a las condiciones de operación del motor. Estos depósitos son material insoluble, pudiendo estos aumentar hasta el punto de no poder mantenerse en suspensión en el aceite.

La mayor parte de los depósitos son el resultado de la polimerización del combustible no quemado y de la oxidación del aceite por someterlo a temperaturas muy elevadas. Estos depósitos pueden contener el producto de combustiones incompletas, hollines, carbonillas, polvo, agua, óxido y metales de desgaste del motor.

Es fundamental eliminar la formación de estos depósitos en el motor, por medio de elementos filtrantes y depuradoras.

- Valores límites medios:
  - Contenido de insolubles totales en valores del 1 al 1.5% comienzan a ser normales.
  - Valores entre 1.5 y 2.5% ya son elevados y debería cambiarse el aceite.

- Valores superiores al 3% se consideran excesivos y sería necesario corregir el origen del fallo del motor.(sistema de combustible, enfriador de aire de carga...).

## PRESENCIA DE PARTÍCULAS METÁLICAS

En todos los motores se produce desgaste, pero este grado de desgaste no es siempre el mismo, depende de múltiples factores entre los que destacan el mantenimiento y el tipo de operación.

Mediante el análisis espectrográfico del aceite se consigue medir la cantidad de contaminantes metálicos fruto del desgaste.

Los metales están presentes en el aceite debido al desgaste que sufren algunas partes del motor, como por ejemplo aluminio, plomo cromo, níquel, cobre, estaño, hierro, etc.

El silicio puede ingresar en el aceite debido a la entrada de suciedad al motor, polvo, arena...

Si se producen fugas de refrigerante y llegan al aceite, podrán encontrarse boro, sodio o potasio.

A continuación se citarán algunos metales, y cuál puede ser su procedencia:

- Hierro:

Un aumento rápido del contenido en hierro (Fe) en un aceite puede indicar un desgaste excesivo de las camisas del cilindro.

También puede estar relacionado con la oxidación de piezas del motor, en casos de largos periodos de inactividad. (el aceite recude hacia el cárter dejando partes expuestas directamente a la oxidación).

- Cromo:

El contenido en cromo puede provenir de los aros del pistón, levas empujadores de las válvulas.

- Cobre:

La presencia de niveles altos de cobre puede estar indicando desgaste en los cojinetes de aleación Cu-Pb.

También puede proceder de los enfriadores de aceite, (en el caso de enfriadores tubulares que contengan cobre como material).

- Plomo:

La aparición de plomo puede indicar desgastes en los cojinetes del motor. Es habitual el uso de plomo en los cojinetes principales y de biela.

- Aluminio:

Altos valores de aluminio puede indicar desgaste de los pistones del motor.

También puede proceder de los cojinetes de empuje del cigüeñal y de los cojinetes intermedios de levas.

- Estaño:

El alto contenido en estaño puede proceder de los cojinetes de biela y bancada.

- Silicio:

La presencia de silicio indica la entrada de suciedad, bien por un mal estado de los filtros de aire, también puede entrar por el respiradero del propio motor.

Otro posible origen son los pistones, en el caso de pistones de aleación aluminio que en su composición tienen contenido alto en silicio.

Algunos aceites de motor tienen en su composición silicio, como aditivo antiespumante, habría que comparar la composición de silicio del aceite en uso, con respecto al aceite nuevo.

El silicio también puede estar presente en el combustible, especialmente en los combustibles medios y pesados (HFO, IFO)

Si el análisis indica elevados contenidos en silicio, hierro y cromo, podríamos deducir la entrada de suciedad por la presencia de silicio, y este sea el origen de desgaste de la camisa y los aros, manifestándose en el alto contenido en hierro y cromo.

Un contenido de silicio de 100ppm o superior indica un desgaste abrasivo importante de los componentes del motor, habría que sustituir filtros (aceite y aire) y el propio aceite.

- Sodio:

Los niveles excesivos de sodio provienen de fugas de líquido refrigerante de los motores, ya que existe sodio en los inhibidores de la corrosión de los refrigerantes.

El sodio también está presente en los combustibles pesados.

[2], [7]

### 3. DESARROLLO

En este apartado vamos observar el estado en que se encontraron los cojinetes, y la posible relación con su deterioro prematuro.

#### 3.1 Estudio del estado de los cojinetes.

Una vez desmontados los cojinetes, según se observó en el apartado anterior 2.1, se inspecciona el estado de los cojinetes de cabeza de biela, observándose el mal estado de los mismos, lo cual nos obliga a sustituir los mismos, por el excesivo desgaste que presentan. Este desgaste es fruto de un mal protocolo de arranque y mala prelubricación.

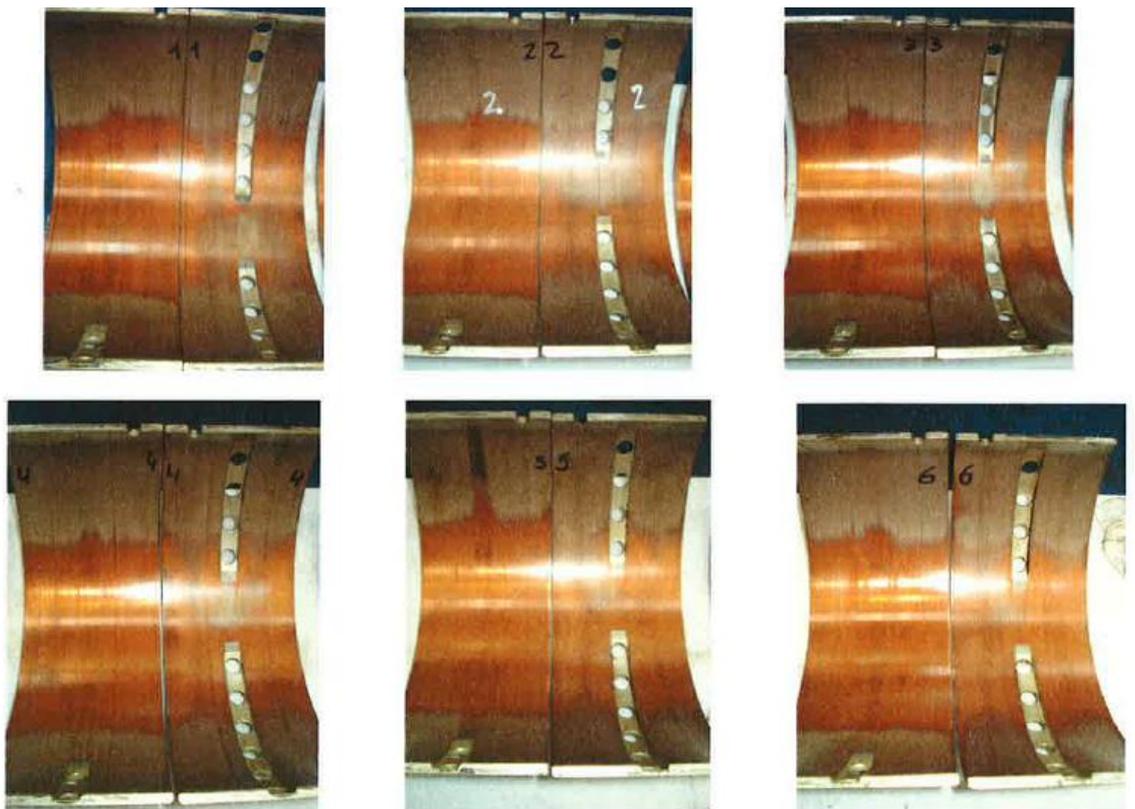


Fig.32 Cojinetes de cabeza de biela. (Fuente propia)

El arranque es un momento “difícil” para la lubricación de los cojinetes, una mala prelubricación, tiempo insuficiente o una temperatura incorrecta, es la causa probable de un desgaste de este tipo.

También son desmontados los cojinetes principales de bancada, para su inspección podemos observar un desgaste, bastante más moderado. Pero si que presentan rallas en toda su longitud, en la zona central. Se nota al tacto, estos surcos.

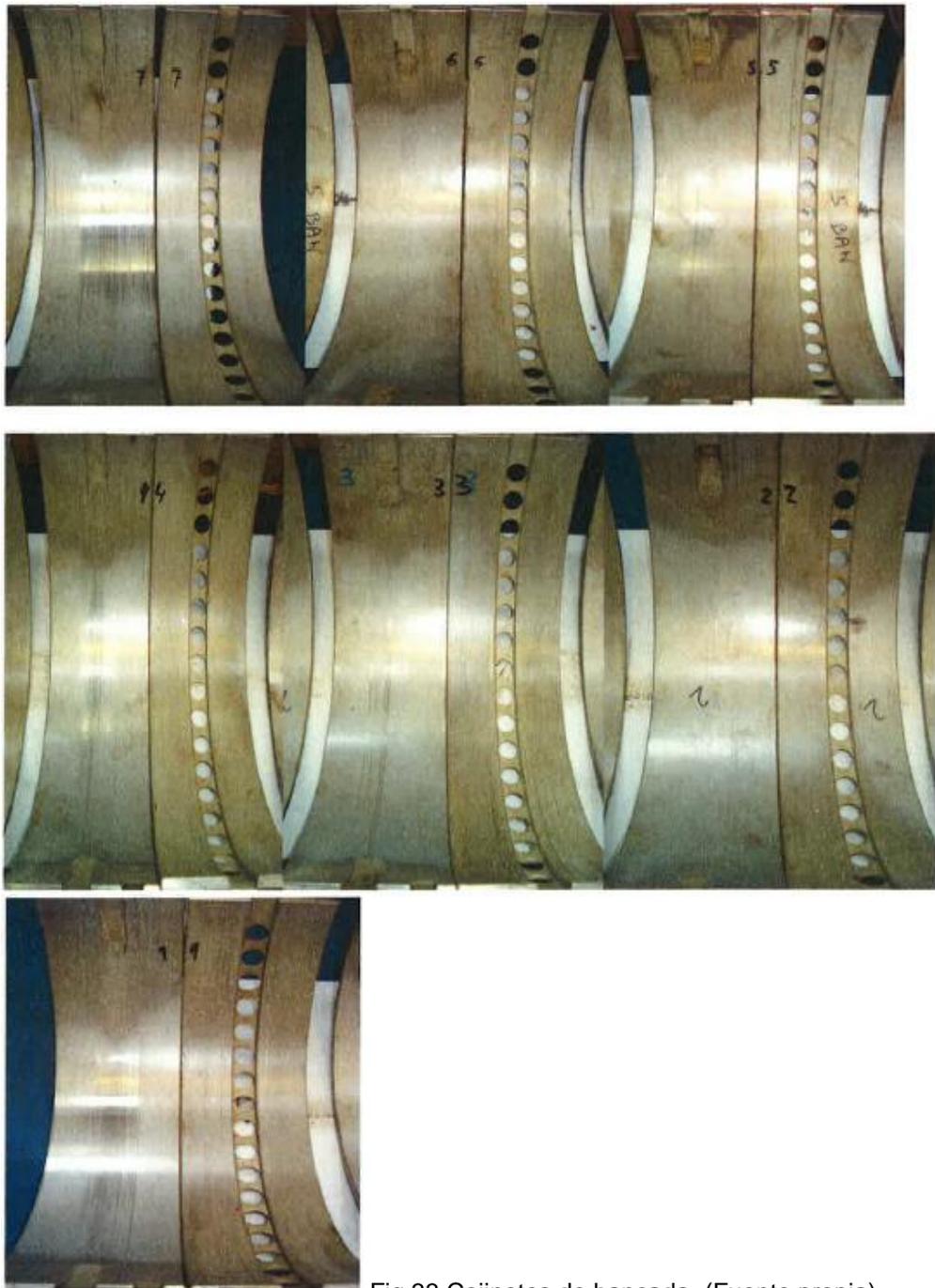


Fig.33 Cojinetes de bancada. (Fuente propia).



Fig.34 Estado del cigüeñal (Fuente propia)

Este desgaste se observa también en pequeños arañazos en el cigüeñal, aunque estos son muy poco profundos y no significativos, por lo cual se decide tratar de eliminarlos con un pulido manual.

Los cojinetes se sustituyen tanto los de bancada como los axiales. Una vez instalados los nuevos cojinetes, se comprueban las holguras, tanto la holgura “K” de bancada como la holgura axial “S”. (según procedimiento de comprobación en los apartados 2.2.2 y 2.1.2, respectivamente). Las medidas obtenidas son las siguientes:

Holgura K, de las bancadas con los cojinetes nuevos:

-Cojinete N°1  $0.50\text{mm} + 0.45\text{mm} = 0.95\text{mm}$

-Cojinete N°2  $0.45\text{mm} + 0.45\text{mm} = 0.90\text{mm}$

-Cojinete N°3  $0.40\text{mm} + 0.40\text{mm} = 0.80\text{mm}$

-Cojinete N°4  $0.45\text{mm} + 0.45\text{mm} = 0.90\text{mm}$

-Cojinete N°5  $0.40\text{mm} + 0.45\text{mm} = 0.85\text{mm}$

-Cojinete N°6  $0.45\text{mm} + 0.45\text{mm} = 0.90\text{mm}$

-Cojinete N°7  $0.45\text{mm} + 0.45\text{mm} = 0.90\text{mm}$

La holgura está entre los 0.80mm y los 0.95mm, el mínimo permitido es 0.65mm, por lo tanto el valor obtenido tras el cambio es correcto. Y el cigüeñal no presenta desviaciones importantes.

La holgura axial “S”, tras los cambios se obtienen las medidas: 0.40mm y 0.50mm, siendo el valor S = 0.45mm

El máximo permitido es de 0.80mm, por lo tanto el estado del cigüeñal también se deduce que es correcto.

En cuanto a los cojinetes de eje de levas, se realizó inspección del cojinete nº1, (requerimiento según manual), observándose el mismo sin desgastes, abrasiones o arañazos. Decidiendo montar de nuevo el mismo.

Se comprueban las holguras de todos los cojinetes (según procedimiento descrito en apartado 2.3).

- Los datos obtenidos son los siguientes:

Cojinete Nº1      0.20mm.

Cojinete Nº2      0.20mm.

Cojinete Nº3      0.20mm.

Cojinete Nº4      0.25mm.

Cojinete Nº5      0.25mm.

Cojinete Nº6      0.20mm.

Cojinete Nº7      0.25mm.

- Las holguras están comprendidas entre 0.20mm 0.25mm.

El máximo permitido es 0.35mm, por lo tanto el eje de levas se deduce que está en buen estado.

### 3.1.1 Enjuiciamiento del estado de los cojinetes.

El desgaste es una pérdida progresiva de material del cojinete cuyo origen se debe al contacto directo y al movimiento relativo de cojinete y el muñón. El contacto metálico debido a una fricción mixta, especialmente en el periodo entre parado y las revoluciones de transición del eje. En esta zona la capacidad portante no es capaz de “separar” las partes deslizantes.

Entre las causas más comunes para que se acentúe el desgaste encontramos, el ya comentado proceso de arranque, problemas de geometría; debidos a montajes incorrectos, las deformaciones del muñón o del propio cojinete, o de los pasajes de aceite.



Fig.35 Cojinete de bancada

Este tipo de desgaste, es el que han sufrido los cojinetes de bancada. La superficie de contacto no es la anchura total del cojinete, sino que se sitúa en el centro del cojinete, se ve también un desplazamiento del revestimiento de rodadura se observan estrías en dirección circular estas pueden ser debidas a sólidos presentes en el aceite, en este caso la profundidad de los surcos, sin ser excesivo, (se nota ligeramente al tacto), sí que recomienda el cambio de los mismos, ya que impide la correcta

formación de la película de lubricación. Por lo tanto se decide cambiar la pareja de cojinetes (superior e inferior).



Fig.36 Ampliación cojinete de bancada. (Fuente propia)

En cuanto a los cojinetes de bancada, estos sí que muestran, un desgaste mucho más acusado con, en zonas estrechas en el vértice del semicojinete con presencia de rayas no muy profundas en todo su ancho.



Fig.37 Cojinetes de cabeza de biela.(Fuente propia)

En cuanto a las posibles causas:

- Un apriete de los pernos incorrecto, excesivo.



Fig.38 Fallo en cabeza de biela (Fuente MS Motorservice Aftermarket)

- Una carga de presión extrema de la biela.
- Una mala prelubricación, con arranque en frío.
- Una viscosidad inadecuada del aceite lo que provoca que la película de lubricación se pierda, en temperaturas “frías” en el arranque, o “altas”, cuando el motor este funcionando a alta carga.
- Y otra causa probable es que el sistema de combustible estuviera inyectando más combustible del requerido, produciendo presiones máximas mayores, siendo estas transmitidas a la biela, observando el estado de las bombas de inyección (bastante sucias y con los elementos con notable desgaste, como se aprecia en la fotografía) puede dejar entrever una relación entre ambos problemas.

[3]



Fig.38 Estado de la bomba de inyección. (Fuente propia)

### 3.1.2 Flexiones de cigüeñal:

Otra comprobación básica que hay que realizar y especialmente después de haber cambiado los cojinetes de bancada, es realizar comprobación de flexiones de cigüeñal.

Las flexiones del motor miden la alineación de un motor respecto al cigüeñal. Variaciones en distancia entre las guialderas de los contrapesos del cigüeñal durante un giro del mismo indican deformaciones o asientos de la bancada.

Unas flexiones grandes sobrecargan el cigüeñal, y por tanto los cojinetes principales.

Los valores han de estar dentro de los valores, que se muestran en la siguiente figura, es importante, hacer las medidas con el motor caliente, después de trabajar un tiempo a régimen de carga normal, y sin asiento del buque.

Se recomienda por tanto, guardar las hojas de medida con el fin de poder comprobar variaciones temporales de estos valores a medio-largo plazo, lo cual hace visible las fluctuaciones de estos valores.

En caso de variaciones no permitidas, deberá alinearse la instalación de nuevo y se controlarán los correspondientes cojinetes principales.

A continuación se muestran los valores permisibles:

	<b>M25</b>
<b>Cilindro 1 o último cilindro con carga adicional (volante/acoplamiento)</b>	<b>+ 0,05 / - 0,11 mm</b>
<b>Todos los cilindros sin carga exterior</b>	<b>+ 0,05 / - 0,08 mm</b>

Fig.39 Flexiones máximas del cigüeñal

Las medidas se tomarán con un comparador, en las distintas posiciones que se muestran en la siguiente figura, partiendo del valor 200.00mm.

Se tomarán en estas cinco posiciones con ayuda del virador:

1. Posición inicial.
2. Muñón al lado de escape
3. Muñón en PMS
4. Muñón al lado de bombas de inyección.
5. Muñón en PMI.

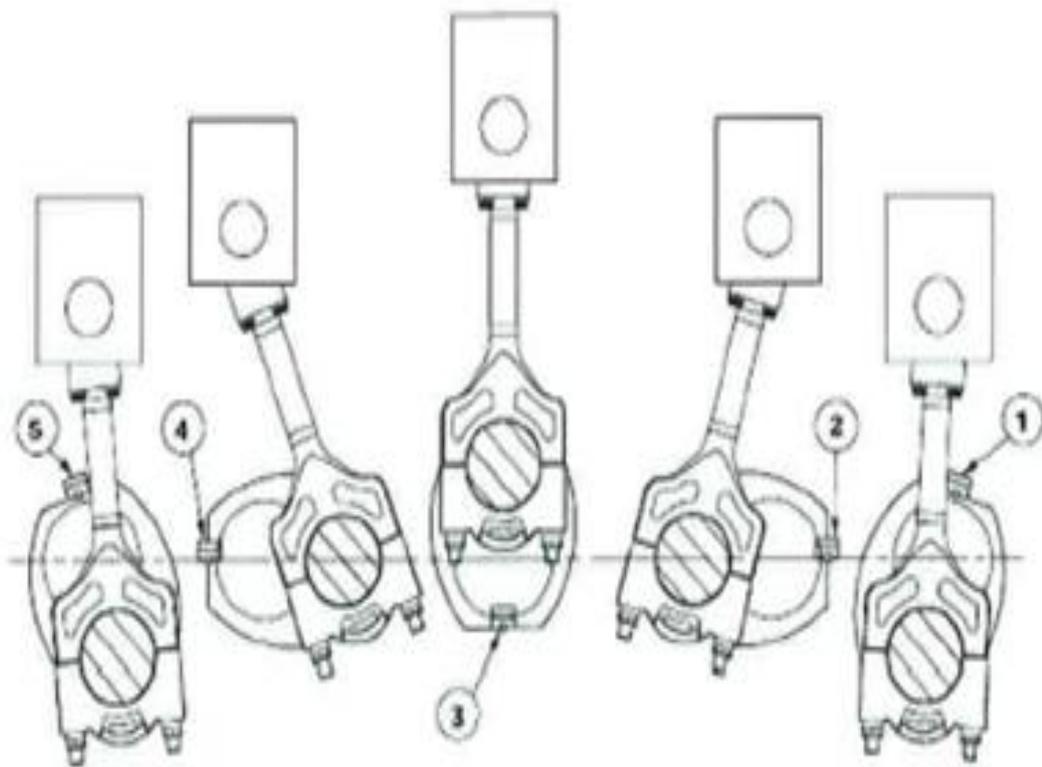


Fig.40. Posiciones del cigüeñal para la toma de medidas 1-5

Teniendo en cuenta el signo de la flexión, que será como se muestra en la figura:

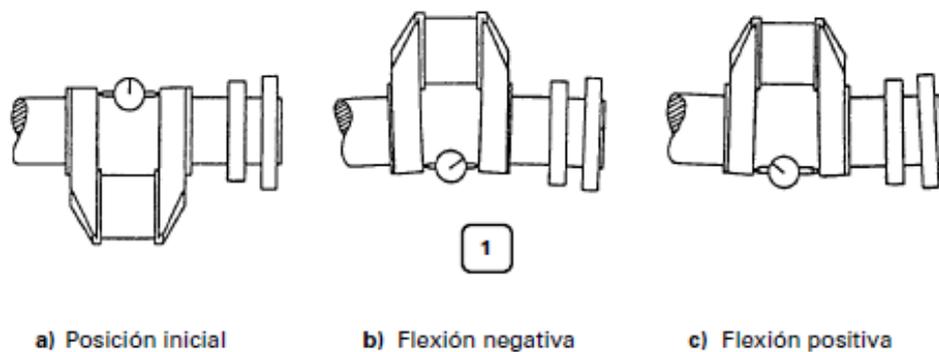


Fig.41 Tipos de flexiones, negativa o positiva.

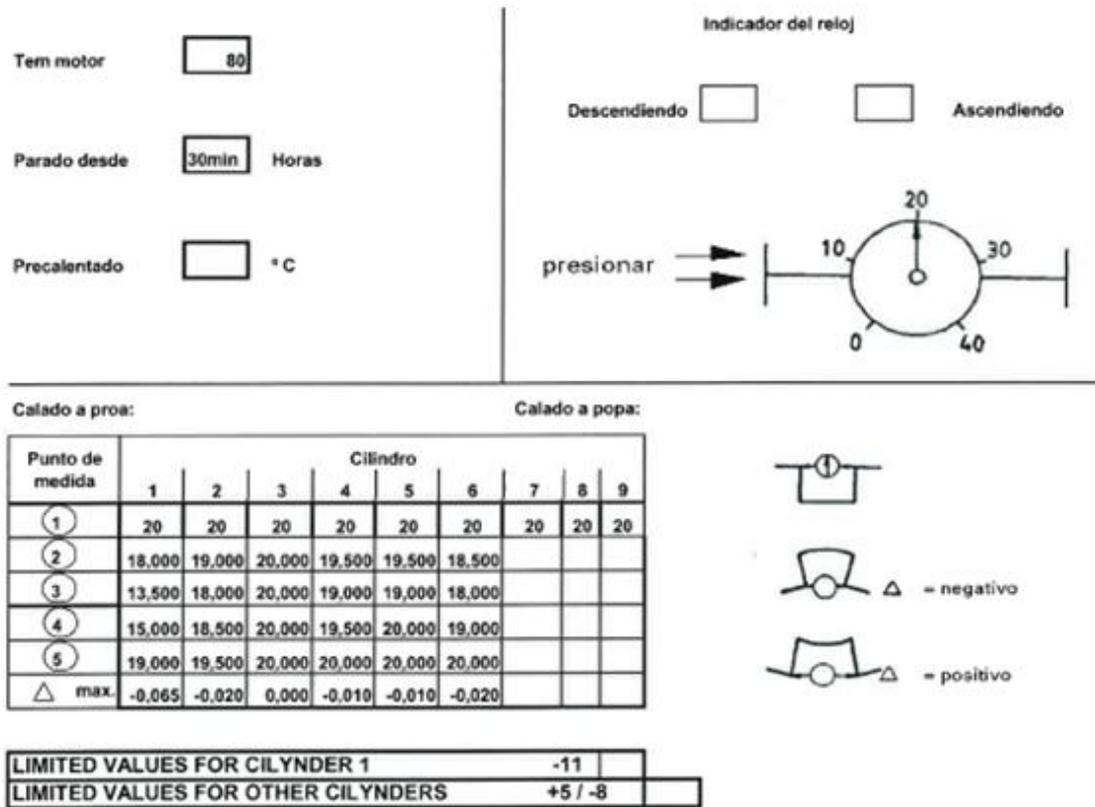


Fig.42 Mediciones tomadas de cada cilindro en las diferentes posiciones

Los valores obtenidos en la medición son los siguientes, notándose que todos ellos están en dentro de las tolerancias fijadas por el fabricante, Mak.

Document 1 : Document Number : 09151020  
 Engine Nr : 1  
 Engine Type : Main Engine

	Cyl 1	Cyl 2	Cyl 3	Cyl 4
Pos A	0,000	0,000	0,000	0,000
Pos B	-0,029	-0,010	0,000	-0,007
Pos C	-0,065	-0,020	0,000	-0,010
Pos D	-0,050	-0,014	+0,001	-0,007
Pos E	-0,014	-0,007	-0,002	-0,001
Max Deflection	0,065	0,020	0,003	0,010

	Cyl 5	Cyl 6
Pos A	0,000	0,000
Pos B	-0,006	-0,014
Pos C	-0,012	-0,021
Pos D	-0,001	-0,009
Pos E	-0,001	0,000
Max Deflection	0,012	0,021

Fig.43 Flexiones del cigüeñal en las posiciones 1-5 y la flexión máxima

[6]

### 3.2 Estudio de estado del lubricante. Discusión de resultados y relación con averías.

Mediante la interpretación de los análisis del lubricante, no sólo podemos observar que algo no está yendo correctamente sino que nos puede dar pistas de donde puede ser la procedencia del fallo, o anomalía.

De esta manera se justifica la realización de dichos análisis, como plan de mantenimiento, y es de mucha importancia el archivo de dichos análisis, a fin de conseguir obtener una vista global de cómo es el estado del motor, y poder realizar un mantenimiento preventivo, del mismo antes de que el problema se acentúe.

En este caso en concreto no disponemos de análisis de muestras anteriores que nos ayudasen a enjuiciar el estado de los cojinetes, pero muy probablemente, en dicho análisis de aceite, encontraríamos presencia de metales, como cobre, plomo o estaño, procedentes del desgaste de los cojinetes antifricción.

Presencia de níquel o vanadio, lo que indicaría presencia de combustible IFO en el aceite (debido al mal estado del sistema de combustible, bombas de inyección e inyectores).

Una viscosidad inadecuada, debido a la incorporación de MGO al aceite, que a su vez incrementaría también los niveles de sodio.

Presencia de insolubles procedentes de la combustión, o un contenido de agua elevado, ya que el sistema de depuración no estaba operativo.

A continuación, en la Fig.44 se muestran los límites, indicados en ppm, presentes en el aceite lubricante, procedentes del desgaste de los diferentes componentes, en el caso que nos preocupa, el motor diesel, sería la primera fila.

 **LIMITES DE UTILIDAD SUGERIDOS PARA ACEITES LUBRICANTES EN SERVICIO**  
INDICADOS EN CANTIDADES DE PPM (METALES DE DESGASTE)

	HIERRO	CROMO	PLOMO	COBRE	ESTAÑO	ALUMINIO	NIQUEL	ANTIMONIO	MANGANESO	SILICIO	BORO	SODIO
	Fe	Cr	Pb	Cu	Sn	Al	Ni	Sb	Mn	Si	B	Na
MOTORES DIESEL	100	25	40	50	25	30	10	5	5	20	20	75
ENGRANAJES	500	10	300	300	20	100	20	10	10	40	20	75
HIDRAULICOS	75	10	20	50	10	50	5	5	5	20	20	75
BOCINAS	100	10	20	25	10	20	10	5	5	30	20	75
COMPRESORES	100	10	20	30	10	20	10	5	5	30	20	75

Fig.44 Límites (ppm) de metales en el aceite, en distintas máquinas, (Fuente: Cepsa)

En la figura 45 se muestran los valores normales de metales de desgaste, en el aceite, (en ppm) de motores Caterpillar. El caso que nos ocupa sería la tercera columna, ya que es donde se encontraría el motor MaK M25.



## LIMITES METALES MOTORES CATERPILLAR

Niveles normales de metales de desgaste (ppm) en cambios de aceite

Modelo de Motor	3208	3406	Todos los Modelos
HIERRO	100	50	100
COBRE	12	45	45
PLOMO	20	20	20
ALUMINIO	15	15	15
CROMO	15	15	15
ESTAÑO	20	20	20
SILICE	30	30	30

Aluminio	Pistones, Cojinetes Principales y de Biela
Cobre	Casquillo de pie de biela, bujes del brazo del balancín. Cojinetes de fabrica de Cu/Pb de algunos modelos 3208 y 1100. Núcleo del enfriador de Aceite.
Plomo	Cojinetes principales y de Biela
Cromo	Aros de Piston, camisas internas de cilindro Cromado de Zinc del Sistema de Enfriamiento
Estaño	Revestimiento o capa de Biela. Cojinete principal
Hierro	Camisas. Aros de Piston. Tren de Válvulas. Cigüeñal.
Sílice	Los pistones contienen aleación de Sílice. Proviene fundamentalmente de la suciedad o contaminación del aire de alimentación.

Fig.45 Límites de metales de desgaste motores CAT, (Fuente: Cepsa)

En la siguiente Fig. 46 podemos observar las características físico-químicas y los límites admisibles.

 		<b>Limites Condensatorios</b> <b>Aceites Motor 4T WARTSILA</b>		
Viscosidad Cst a 40°C	> 20% Incremento Maximo			
	< 45% Descenso Minimo			
Viscosidad Cst a 100°C	> 20% Maximo	14,5	Max 17,4	
	< 25% Minimo	14,5	Min. 10,87	
Agua % Volumen	0,30	Maximo		
B.N. (Mg KOH/Gr)	Min. 20 (Combustible IFO)	50 % B.N. Valor Original Aceite Nuevo (Combustible MGO/MDO)		
Insolubles % Peso	Max. 2,00			
Punto de Inflamacion °C	Minimo 170 (Comb. MGO/MDO)			

Fig.46 Características físico químicas motores 4T, Wartsila. (Fuente: Cepsa)

Y con ayuda de la siguiente Fig.47 podemos tratar de ubicar el origen de los problemas, conociendo los resultados del análisis, y viendo que elemento es el que incrementa su contenido, podemos hallar su procedencia.



## INTERPRETACION RESULTADOS DE ANALISIS

ORIGEN PROBABLE DEL MATERIAL OBSERVADO EN EL ANALISIS DE ACEITE

### ANALISIS DE ACEITE DE MOTOR DIESEL

	Hierro	Cobre	Plomo	Aluminio	Silicio	Cromo	Estaño	Niquel	Sodio	Potasio	Boro	Vanadio	Calcio	Zinc	Fosforo
	Fe	Cu	Pb	Al	Si	Cr	Sn	Ni	Na	K	B	V	Ca	Zn	P
Cojinetes		X	X	X			X								
Arbol de Levas	X														
Refrigerante					X	X			X	X	X				
Cigüeñal	X														
Camisas	X					X									
Valvulas	X					X									
Empaquetaduras					X										
Gas-Oil (MDO)									X						
Fuel-Oil (IFO)				X	X			X	X			X			
Aditivos					X						X		X	X	X
Enfriador Aceite		X													
Bomba de Aceite	X			X											
Pistones	X			X											
Aros	X					X									
Engranajes	X														
Turbo	X			X											
Guias de Valvula	X	X				X									
Bielas	X														
Contaminacion Agua									X						

Fig.47. Tabla que muestra posible origen de fallo, en función de los metales del aceite. (Fuente Cepsa)

Mediante el programa de análisis predictivo, el cual se lleva a cabo en periodo determinados, en el caso de el motor principal esa frecuencia es de 90 días, se obtienen los resultados del laboratorio, en los que se analizan las propiedades físico-químicas y la presencia de metales o contaminantes en el aceite, en las dos siguientes figuras se pueden observar en la primera, que es el motor del cual se está realizando el trabajo, que todos los valores son los adecuados, es decir dentro de los límites correctos, lo que indica que todos los trabajos realizados fueron los correctos, (trabajos en culatas, bombas de inyección, inyectoras, cojinetes, bombas acopladas...).

Referencia	
Cód. CEPSA Equipo:	151 i84
Denominación:	MOTOR PRINCIPAL "MAX 6M 25"
Producto:	MOBILGARD M440
Buque:	BUQUE

Muestras	Actual	Anteriores
Etiqueta	6049356	
Nombre de la muestra	1605050	
Fecha de toma	28/ 3/2016	
Fecha de recepción	28/ 3/2016	
Horas/Km equipo	21179	
Horas/Km aceite	1100	
Cambio	No	
Releno	NO INDICAN	
Ref. aceite	67346	
Tomada de	NO INDICAN	

Resultados		
<b>- Características Fisico-Químicas</b>		
Contenido en Agua - %(m/m)	Karl Fischer	<0.010
% Diesel -	ASTM D3524	<0.5
Viscosidad 100°C - mm <sup>2</sup> /s	ASTM D 445	14.66
Índice Contaminación - %(m/m)	Fotómetro	0.4
Demérito Ponderado - %	Fotómetro	2
Opacidad - %	Fotómetro	92
Dispersancia - %	Fotómetro	94
Número de Base - mg KOH/g	ASTM D2896	31.9
% Biodiesel -	ASTM D3524	<0.2
<b>- Aditivación</b>		
Boro - ppm WT	ICP	<1
Bario - ppm WT	ICP	<1
Magnesio - ppm WT	ICP	125
Molibdeno - ppm WT	ICP	3
Fosforo - ppm WT	ICP	341
Zinc - ppm WT	ICP	421
<b>- Metales de desgaste y contaminación</b>		
Aluminio - ppm WT	ICP	<1
Cobre - ppm WT	ICP	2
Cromo - ppm WT	ICP	1
Hierro - ppm WT	ICP	19

- Nivel Precaución (\*) Nivel Alerta (\*\*)

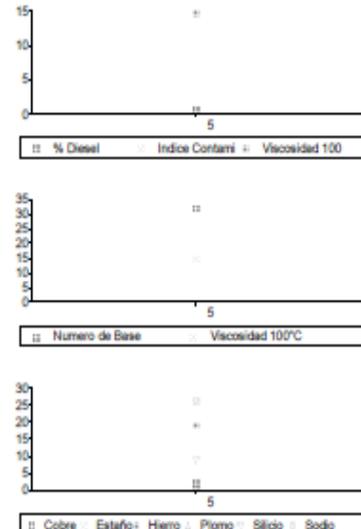


Fig.48 Primer análisis realizado al motor, tras la reparación.

Es importante como ya se comentó anteriormente el archivo de estos análisis, especialmente después de haber realizado un trabajo en un motor de este calibre, a fin de poder comparar posible cambios en el estado del aceite. En las gráficas de la derecha se puede ver la evolución histórica de los diferentes valores, (nótese que este es el primer análisis de este motor, por lo tanto no podemos ver la evolución de los valores).

Con el objetivo de poder ver esta evolución, se muestra el siguiente análisis, año y medio más tarde, en el que podemos ver la evolución de estos datos, y un registro histórico, es de mucha utilidad esto ya que podemos establecer comparativas, y predecir el origen de problemas, así como poder observar que las reparaciones realizadas, consiguieron subsanar esos problemas.

Cód. CEPESA Equipo:15 092684
Denominación: MOTOR PRINCIPAL "MAK 6M 25"
Producto: MOBILGARD M440
Buque: BUQUE

Muestras	Actual	Anteriores		
		6033402	6050203	6049359
Etiqueta	6033408	6033402	6050203	6049359
Nombre de la muestra	1707849	1619469	1615816	1609898
Fecha de toma	11/ 4/2017	28/10/2016	25/ 8/2016	22/ 5/2016
Fecha de recepción	4/ 5/2017	7/11/2016	6/ 9/2016	6/ 6/2016
Horas/Km equipo	25.731	23695	22884	21822
Horas/Km aceite	5688	3616	2805	1743
Cambio	No	No	No	No
Relleno	705 L	400L	NO INDICAN	
Ref. aceite	67346	67346	67346	67346
Tomada de	CIRCUITO	CIRUITO	CIRCUITO TRADA MOTOR	

Resultados					
- Características Físico-Químicas					
Contenido en Agua - %(m/m)	Karl Fischer	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
% Diesel	ASTM D3524	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Viscosidad 100°C - mm <sup>2</sup> /s	ASTM D 445	15.84	15.14	15.21	14.82
Índice Contaminación - %(m/m)	Fotómetro	0.5	0.4	0.4	0.4
Demérito Ponderado - %	Fotómetro	8	6	3	2
Opacidad - %	Fotómetro	65	94	80	91
Dispersancia - %	Fotómetro	83	84	91	95
Número de Base - mg KOH/g	ASTM D2896	28.4	33.6	29.4	33.4
% Biodiesel	ASTM D3524	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
- Aditivación					
Boro - ppm WT	ICP	3	4	1	<1
Bario - ppm WT	ICP	1	1	<1	<1
Calcio - ppm WT	ICP	12640			
Magnesio - ppm WT	ICP	63	120	99	37
Molibdeno - ppm WT	ICP	2	3	2	1
Fosforo - ppm WT	ICP	286	346	391	281
Zinc - ppm WT	ICP	348	413	462	337

## Resultados

- Metales de desgaste y contaminación					
Hierro - ppm WT	ICP	22	20	22	18
Plomo - ppm WT	ICP	1	1	1	1
Silicio - ppm WT	ICP	18	12	16	15
Sodio - ppm WT	ICP	29	23	30	21
Estaño - ppm WT	ICP	1	1	1	1
Niquel - ppm WT	ICP	41 *	35	42 *	24
Vanadio - ppm WT	ICP	119 *	95 *	101 *	55
Plata - ppm WT	ICP	<1	<1	<1	<1

- Metales de desgaste y contaminación					
Aluminio - ppm WT	ICP	2	2	1	<1
Cobre - ppm WT	ICP	3	3	4	2
Cromo - ppm WT	ICP	1	1	1	<1

- Nivel **Precaución** (\*) Nivel **Alerta** (\*\*)

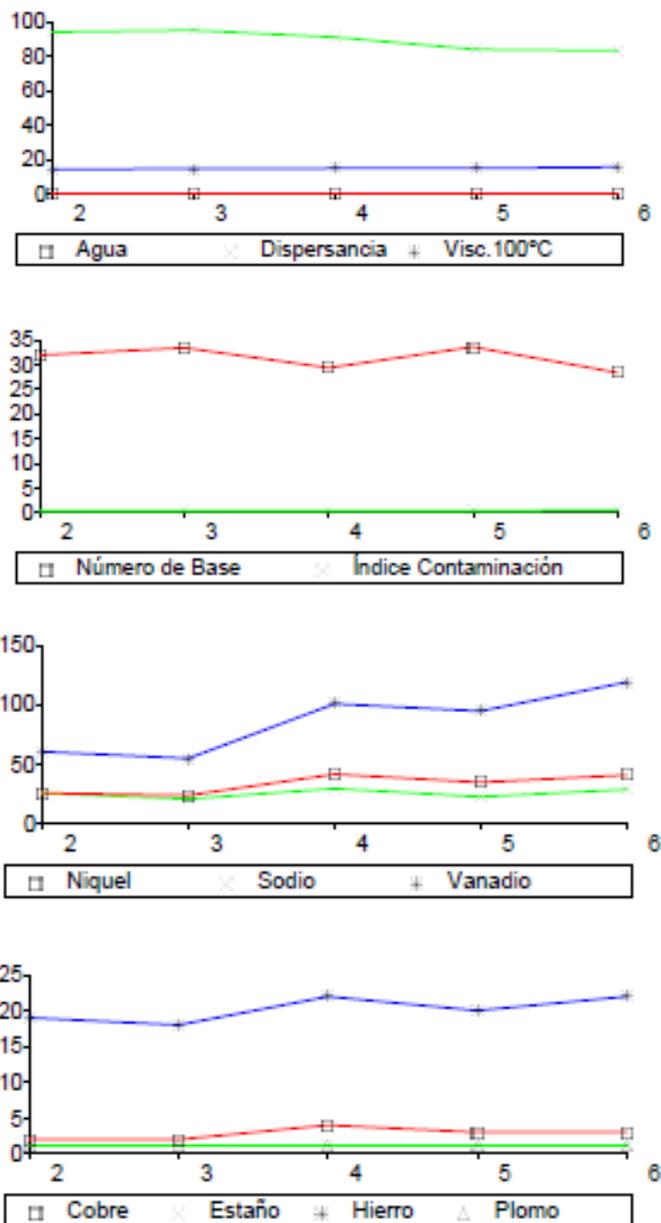


Fig.49 Resultados del sexto análisis de aceite del motor

En este análisis se nota un ligero incremento de los valores de níquel y vanadio por encima del recomendado, también se incrementa un poco los valores de aluminio, sodio y silicio. No son valores muy excesivos, pero si representativos, lo que indica que una presencia de Fuel-oil en el aceite, con lo que se deduce que hubo un problema en el sistema de combustible, estos valores están más o menos estables, con la adicción de nuevo aceite limpio y la utilización de las depuradoras, estos valores no deberían incrementarse, si esto ocurriera y se incrementaran, es obvio que el sistemas de combustible tiene alguna deficiencia y contamina el aceite.

[7]

## 4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos y la discusión de los mismos, han ayudado a elaborar las siguientes conclusiones:

- Una mala prelubricación, en combinación con el arranque en frío, son extremadamente perjudiciales para un motor, el cual no alcanza las revoluciones que permiten una correcta lubricación de los cojinetes, manifestándose en fricción mixta y esta traduciéndose en desgaste prematuro de los cojinetes.
- Una mala depuración del aceite, es la causante del deterioro prematuro de los cojinetes de bancada, los cuales presentaban una rayado significativo para el número de horas de servicio del motor, lo cual probablemente consecuencia de insolubles en el aceite, que no fueron eliminados por las depuradoras y que entraron el sistema de engrase de las bancada.

Esto unido a un mantenimiento inadecuado del sistema de combustible, son muy probablemente los causantes del deterioro de los cojinetes de cabeza de biela, ya que estos fueron sometidos a presiones excesivas, (muy probablemente durante el bajo régimen y debido a problemas en las bombas de inyección).

- Es de vital importancia el análisis de aceite lubricante. Con el fin de proporcionar un elemento que nos permitan dictaminar si todo va bien o hay algo “extraño” en el motor. El análisis de aceite nos proporciona datos objetivos y nos ayuda a saber la procedencia de esa anomalía, que sin el análisis posiblemente tardaríamos demasiado tiempo en darnos cuenta, con las importantes consecuencias que podría originar.

Así pues, es importante recalcar la necesidad de estos análisis, tratar de tomar las muestras lo más significativas posibles, ya que

unos pequeños centilitros representan muchos litros de aceite, saber interpretar los resultados, y hacer comparativas, ya que es una manera fácil y rápida de saber lo que ocurre en un motor.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Giocosa D. (2000). “Cap.IX. Lubricación y lubricantes”. *Motori endotermici*. 10ª Edición, Milán, Edición Omega.
- [2] El tutor de lubricación de Shell (2008): Módulo 2, Motores. Shell.
- [3] MS Motorservice Aftermarket Ibérica Rheinmetall Automotive. (2017). [Internet] Cojinetes de fricción. Available: [www.ms-motorservice.com](http://www.ms-motorservice.com)
- [4] M. Muñoz, F. Payri. (1989). “Cap.V. Pérdidas mecánicas, Lubricación y Aceites. Cap.22 Elementos constructivos. Cojinetes”. *Motores de Combustión Interna alternativos*. Madrid. Sección de publicaciones de la E.T.S. de Ingenieros Industriales
- [5] AlfaLaval Separation System(1997) Manual de Operación y Servicio MMPX303. Alfa Laval Separation AB. Tumba, Sweden. Separator Manuals, dept. SKL
- [6] Engine Operating Instructions, (2004). Mak M25. Caterpillar Motoren GmbH & Co. KG
- [7] Control de Aceites en servicio. (2009). Análisis e Interpretación. Cepsa lubricantes SA. Departamento de Asistencia Técnica Marina.

## AVISO:

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Grado de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros,

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Grado así como el profesor tutor/director no son responsables del contenido último de este Trabajo.”