

**Supervisión y gestión del alcance de los trabajos  
realizados durante la revisión mayor de un  
motor Man 48/60.**

Trabajo Fin de Grado  
Grado en Tecnologías Marinas  
Septiembre de 2021

Autor:

**Jacobo Guillén Duarte**

Tutor:

**Prof. D. Juan Toribio Morales Darias**



Escuela Politécnica Superior de Ingeniería  
Sección Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval  
Universidad de La Laguna

---

D. Juan Toribio Morales Darias, Profesor de la UD de Ingeniería Marítima perteneciente al Departamento de Ingeniería Agraria, Náutica, Civil y Marítima de la Universidad de la Laguna:

Expone que:

D. Jacobo Guillén Duarte con DNI 78546404R, ha realizado bajo mi dirección el trabajo fin de grado titulado: “**Supervisión y gestión del alcance de los trabajos realizados durante la revisión mayor de un motor Man 48/60**”.

Revisado dicho trabajo, estimo reúne los requisitos para ser juzgado por el tribunal que sea designado para su lectura.

Para que conste y surta los efectos oportunos, expido y firmo el presente documento.

En Santa Cruz de Tenerife a XX de septiembre de 2021.

Fdo.: D. Juan Toribio Morales Darias.

Director del trabajo.

Guillén Duarte, J.1985. "*Supervisión y gestión del alcance de los trabajos realizados durante la revisión mayor de un motor Man 48/60*". Trabajo de Fin de Grado. Universidad de La Laguna.

## RESUMEN

Este documento toma como tema central la ejecución de un mantenimiento programado de carácter preventivo por horas de funcionamiento efectivo de un motor Man 48/60 de 18 cilindros en V. Durante la ejecución real de los trabajos recopilaremos datos desde el punto de vista de la gestión y supervisión de los mismos, centrándonos principalmente en la parte técnica, pero sin dejar de poner en valor el factor humano y profesional indispensable y la importancia de una buena organización para cumplir los objetivos esperados. Para poder documentar este proyecto, he formado parte del equipo de trabajo dedicado al mantenimiento mecánico de la instalación donde se encuentra instalado el motor. Siguiendo indicaciones del fabricante y también los datos históricos de la propia instalación, recogidos mediante distintos métodos analógicos y digitales a lo largo del periodo que concurre entre dos revisiones de las mismas características, se programan una serie de acciones que agrupan distintos tipos de mantenimiento, en su mayor parte de carácter correctivo y preventivo. Tras el análisis posterior, hemos concluido en que la importancia de la experiencia acumulada durante años por el personal propio de la instalación toma un papel importante en la vida de las máquinas, nos atrevemos a decir que puede estar incluso por encima de las indicaciones de los fabricantes, sin quitarle a estos la gran importancia que tienen. Esto es debido a que la influencia de la climatología del lugar, las propiedades de los suelos sobre los que se montan las estructuras que soportan las máquinas, los tipos de combustibles y los tratamientos de estos, las composiciones y temperaturas del agua de mar, el tipo de uso que tenga la propia máquina y algunas otras cosas de menos calibre, son particularidades del lugar geográfico y de la instalación. No se pueden tener en cuenta de manera tan específica en los manuales de los fabricantes, que deben tener carácter más generalizado al respecto.

Palabras claves: profesional, mantenimiento, motor, inspección y metrología.

Guillén Duarte, J.1985. "*Supervisión y gestión del alcance de los trabajos realizados durante la revisión mayor de un motor Man 48/60*". Trabajo de Fin de Grado. Universidad de La Laguna.

## **ABSTRACT**

This document takes as its central theme the execution of a scheduled preventive maintenance for hours of effective operation of a Man 48/60 18-cylinder V engine. During the actual execution of the work, we will collect data from the management point of view. and supervision of them, focusing mainly on the technical part, but without ceasing to value the essential human and professional factor and the importance of a good organization to meet the expected objectives. In order to document this project, I have been part of the work team dedicated to the mechanical maintenance of the facility where the motor is installed. Following the manufacturer's instructions and also the historical data of the installation itself, collected by means of different analog and digital methods throughout the period between two revisions of the same characteristics, a series of actions are programmed that group different types of maintenance, in mostly of a corrective and preventive nature. After the subsequent analysis, we have concluded that the importance of the experience accumulated over years by the installation's own personnel plays an important role in the life of the machines, we dare to say that it may even be above the indications of the manufacturers, without taking away from them the great importance they have. This is due to the influence of the climatology of the place, the properties of the soils on which the structures that support the machines are mounted, the types of fuels and their treatments, the compositions and temperatures of the sea water, the type of use that the machine itself has and some other things of less caliber, are peculiarities of the geographical location and the installation. They cannot be taken into account in such a specific way in the manufacturers' manuals, which must be more generalized in this regard.

Keywords: professional, maintenance, motor, inspection and metrology.

## AGRADECIMIENTOS

---

*A todos y cada uno de los que me han acompañado en esta aventura de aprender y crecer, cada palabra de apoyo a sido un suspiro de viento que sumado a los demás me ha mantenido siempre avante.*

*A mi madre, que me inculco los valores de la paciencia y la humildad y me enseñó a ser valiente y a luchar.*

*A mis hermanos, apoyo incondicional por y para siempre, firme cuerda de cuatro hilos que me mantiene seguro al muelle.*

*A mi mujer y a mis hijos, sin ninguna duda mi combustible, sin ellos nunca hubiera sido posible.*

*A mi tutor, Juan Toribio Morales Darias, su ayuda e implicación para conmigo en este proyecto ha sido determinante para su evolución. Mil gracias.*

*A todo el personal de la Escuela Superior de Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval de la ULL, que me han alimentado, aconsejado, enseñado y orientado durante este reto personal.*

---

## Índice

---

<b>1. Introducción.....</b>	<b>6</b>
<b>2. Objetivos.....</b>	<b>7</b>
2.1 Objetivos económicos.....	7
2.2 Objetivos personales .....	7
<b>3. Motor Man 48/60 tipo A de 18 cilindros en V .....</b>	<b>8</b>
3.1. Información general .....	8
3.2. Información técnica.....	9
<b>4. Organización previa .....</b>	<b>11</b>
4.1. Alcance de los trabajos mecánicos .....	12
4.2. Tiempo de ejecución de los trabajos.....	19
4.3. Coordinación entre empresas .....	19
4.4. Los recursos humanos.....	21
4.5. Los recursos materiales .....	22
4.6. Turnos de trabajo.....	24
<b>5. Desarrollo de la revisión .....</b>	<b>26</b>
5.1. Toma de flexiones y preparativos para comenzar los trabajos de desmontaje.....	27
5.2. Desmontaje, reacondicionado y montaje de las turbosoplantes.....	28
5.3. Desmontaje del motor.....	29
5.4. Trabajos en taller .....	30
5.4.1. Desmontaje, limpieza y reacondicionado de culatas .....	30
5.4.2. Desmontaje, limpieza y reacondicionado de bombas de inyección .....	32
5.4.3. Desmontaje, limpieza, reacondicionado y timbrado de inyectores .....	34
5.4.4. Limpieza y rectificado de conos de válvulas .....	35
5.4.5. Rectificado de asientos de válvulas .....	36
5.4.6. Desmontaje, limpieza y reacondicionado de válvulas de arranque .....	37

5.4.7. Desmontaje, limpieza y reacondicionado de pistones .....	38
5.4.8. Limpieza y bruñido de camisas .....	39
5.5.9. Inspección de taqués de accionamiento de válvulas y bombas de inyección .....	40
5.4.10. Limpieza de elementos no principales .....	40
5.4.11. Limpieza y reacondicionado de enfriadores de aire de carga.....	41
5.5. Trabajos en campo .....	42
5.5.1. Limpieza del bloque .....	42
5.5.2. Cojinetes de bancada .....	42
5.5.3. Cojinetes de cabeza de biela .....	43
5.5.4. Cojinetes de eje de levas y otros elementos acoplados .....	44
5.5.5. Reapriete de bloque y bancada .....	45
5.5.6. Inspección del volante amortiguador de vibraciones .....	46
5.6. Montaje del motor .....	47
5.7. Toma de huelgos .....	49
5.8. Llenado de circuitos y pruebas de estanqueidad y funcionamiento.....	49
5.9. Rodaje .....	52
<b>6. Resultados.....</b>	<b>56</b>
<b>7. Conclusiones.....</b>	<b>57</b>
<b>8. Bibliografía .....</b>	<b>58</b>
<b>9. Anexos .....</b>	<b>59</b>
01.- Anexo I. Toma de flexiones .....	59
02.- Anexo II. Ajustes y tolerancias.....	62
03.- Anexo III. Datos de rodaje .....	79
04.- Anexo IV. Tolerancias y huelgos turbosoplantes .....	80

## Índice de ilustraciones

---

Ilustración 1. Sección motor Man 48/60 tipo A.....	8
Ilustración 2. Mesa de corte por láser.....	22
Ilustración 3. Puente grúa.....	23
Ilustración 4. Máquinas autopropulsadas .....	24
Ilustración 5. Caseta modular aisladas de la instalación, vestuario.....	24
Ilustración 6. Ilustración toma de flexiones .....	28
Ilustración 7. Alzado de turbosoplante, manual <i>Man 48/60 18V tipo A</i> .....	28
Ilustración 8. Detalle álabes rueda turbina de gases de escape lado B .....	29
Ilustración 9. Culata limpia por aspersión .....	31
Ilustración 10. Culatas limpias en taller .....	31
Ilustración 11. Culatas preparadas para montaje.....	32
Ilustración 12. Prueba hidráulica culata.....	32
Ilustración 13. Detalle asiento rectificado de cabeza de bomba de inyección .....	33
Ilustración 14. Bombas de inyección terminadas .....	34
Ilustración 15. Asiento del cuerpo del inyector.....	35
Ilustración 16. Inyector preparado para montaje.....	35
Ilustración 17. Detalle asientos de válvula deteriorados .....	35
Ilustración 18. Máquina de rectificado de conos de válvula .....	36
Ilustración 19. Proceso de rectificado de asiento.....	36
Ilustración 20. Ensayo no destructivo, búsqueda de grietas .....	37
Ilustración 21. Válvulas de arranque desmontadas .....	38
Ilustración 22. Medición cajera .....	39
Ilustración 23. Medidas de holgura de casquillo y estiramiento de pernos.....	39
Ilustración 24. Máquina de bruñido.....	40
Ilustración 25. Detalle camisa bruñida .....	40
Ilustración 26. Limpieza de enfriador con agua a presión.....	41
Ilustración 27. Parte alta del bloque, alojamientos.....	42
Ilustración 28. Cojinete bancada nº4 .....	43



Ilustración 29. Cojinete cabeza de biela A8 .....	44
Ilustración 30. Seguidor de leva .....	45
Ilustración 31. Falsa leva.....	45
Ilustración 32. Manguera hidráulica alta presión.....	46
Ilustración 33. Montaje para apriete por estiramiento .....	46
Ilustración 34. Detalle alojamiento del muelle en volante.....	47
Ilustración 35. Muelle preparado para montaje .....	47
Ilustración 36. Culatas montadas .....	48
Ilustración 37. Pistones montados.....	48
Ilustración 38. Motor montado visto desde popa, línea A.....	48
Ilustración 39. Gráfica procedimiento subida de carga .....	53
Ilustración 40. Man 48/60, línea B vista de popa a proa desde el piso de culatas.....	54
Ilustración 41. Temperaturas de gases de escape en rodaje a 18 Mw .....	56
Ilustración 42. Barco “ <i>Nuestra Señora de la Luz</i> ”, Puerto Naos, Lanzarote (entre 1974 y 1979).....	83

## Índice de tablas

---

Tabla 1. Potencia y consumo .....	9
Tabla 2. Datos técnicos .....	10
Tabla 3. Temperaturas y presiones .....	11
Tabla 4. Presiones para pruebas de estanqueidad.....	11
Tabla 5. Operarios mantenimiento mecánico .....	25
Tabla 6. Pausas durante la jornada.....	25
Tabla 7. Diagrama de programación temporal de la obra.....	26

## 1. Introducción

A ciertos niveles industriales, en los que la parada de un motor para su puesta a punto se traduce en una inactividad absoluta de este, pudiendo afectar total o parcialmente al funcionamiento de una fábrica para la producción de algún artículo o sustancia o bien un buque que transporta cualquier tipo de mercancía de necesidad en su punto de entrega, se genera una actividad frenética en un periodo de tiempo bastante corto en el que se ven involucrados una cantidad considerable de profesionales de distintas especialidades, normalmente en espacios bastante limitados. De la buena ejecución de estas obras dependerá el siguiente periodo de trabajo ininterrumpido del motor, una buena gestión del mantenimiento en una máquina minimiza los riesgos de sufrir averías fortuitas que generen la necesidad de realizar mantenimientos correctivos que pueden pillar al personal sin los recursos adecuados para solventar el problema.

Desde otro punto de vista, este tipo de paradas denominadas como revisiones mayores, dan pie a poder realizar operaciones de mantenimiento que serían imposibles en el ritmo normal de trabajo del motor. Se aprovecha para realizar reformas en circuitos, bien para mejorar algún aspecto o para adaptar a nuevas normativas, también se realizan los denominados mantenimiento legales para certificación de tanques de almacenamiento intercambiadores de calor y otros elementos a presión, y por último, existen pequeñas averías que exigen la necesidad de programar un mantenimiento correctivo pero que no influyen directamente en el funcionamiento normal de la instalación, como pueden ser pequeñas fugas controladas, soportes y pernos con holgura o rotos por vibración, etc, en las que después de evaluar el problema se decide que se puede posponer hasta fecha de revisión. En definitiva, se trata de una obra necesaria para el buen funcionamiento de la máquina, que está contemplada de manera general por los distintos fabricantes y que forma parte del plan de mantenimiento dentro de una cronología preestablecida, todo debe estar muy bien organizado y deben de disponerse de los recursos necesarios para lo previsto y los posibles imprevisto que surjan.

En este trabajo se ha documentado la experiencia de gestionar los recursos humanos y materiales durante la revisión mayor de 18000 horas de un motor Man modelo 48/60 dedicado a la generación de energía eléctrica, aunque se trata de una unidad de potencia de carácter marino que montan muchos buques mercantes en la actualidad. La mayoría del material aportado es información de primera mano recogida en campo.

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivos económicos

La finalidad económica de las tareas de mantenimiento que comprenden este trabajo se centra básicamente en dos grandes grupos:

- Ajustarse a los presupuestos previstos previamente en lo que se refiere a lo cuantificable, como pueden ser contrataciones externas, repuestos, y materiales consumibles.
- Tener el motor en situación de indisponibilidad para el servicio el mínimo tiempo posible, sin poner en riesgo la seguridad de las personas ni de la planta.

En lo que respecta a lo primero, se realiza un trabajo previo a la ejecución de los trabajos basado en fundamentos teóricos inherentes a la máquina, y prácticos adquiridos durante su vida útil. Una forma de ahorro que se pone en práctica habitualmente en lo que respecta a los repuestos recomendados por el fabricante se basa en usar los conocimientos históricos y las habilidades del personal que conforma el equipo de trabajo para alargar la vida útil de algunos elementos por encima de lo recomendado por el fabricante, siempre poniendo de antemano la seguridad. Se ha demostrado con el paso del tiempo que se puede obtener un resultado muy beneficioso a nivel económico con un gasto extra de horas-hombre asumible.

En cuanto al segundo bloque, exige de una enorme capacidad de organización de los recursos humanos y materiales disponibles, unidos a la pericia que se debe de tener a la hora de dar solución a los imprevistos que surgen en el periodo de tiempo establecido como máximo para la ejecución de la obra.

### 2.2 Objetivos personales

En lo que respecta a la parte personal, el objetivo profesional es realizar una buena gestión de los recursos humanos involucrados. Los trabajos deben de sucederse en unas condiciones de seguridad lo más ejemplares posibles, lo que conlleva tener una buena planificación e intentar generar un ambiente laboral apacible.

Hay que tener muy en cuenta las condiciones de habitabilidad de las zonas comunes, estructurar las paradas de descanso y comidas, las condiciones de traslado contemplando vehículos distancias y tiempo, etc. En definitiva, los ejecutores de los trabajos

deben ser cuidados por sus superiores, ya que, un equipo de trabajo en un ambiente de convivencia hostil va a repercutir negativamente en la evolución y ejecución de las actividades de la obra.

### 3. Motor Man 48/60 tipo A de 18 cilindros en V

#### 3.1. Información general

El motor Man 48/60 tipo A es un motor de cuatro tiempos sobrealimentado con una distribución de los cilindros en V, nueve cilindros por cada línea. El diámetro del cilindro es de 480 mm y su carrera es de 600 mm. Nuestro grupo se utiliza como generador de energía en una central eléctrica estacionaria y está dentro del catálogo de motores de velocidad media del fabricante Man B&W. Se compone principalmente de algunos elementos estáticos como el cárter del cigüeñal, las camisas de cilindros y las culatas, y de elementos móviles como el propio cigüeñal, el conjunto biela – émbolo, la propulsión de ruedas y el árbol de levas así como los sistemas de accionamiento de las bombas de combustible y de las válvulas. El motor monta dos turbosoplantes de gases de escape Man B&W de la serie NA, una por cada línea de cilindros, cada línea tiene un colector independiente tanto para la canalización de los gases de escape como para el aire de admisión. El peso total de la máquina es de 269 toneladas.

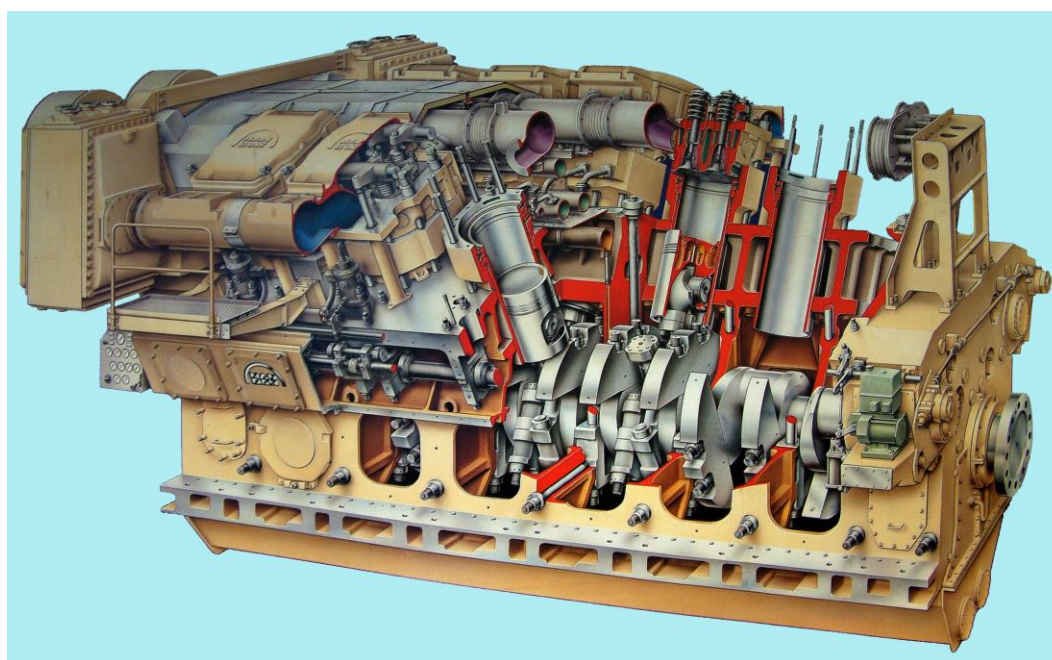


Ilustración 1. Sección motor Man 48/60 tipo A

Este tipo de motores posee una elevada relación carrera - diámetro y una alta relación de compresión, esto facilita una óptima configuración de la cámara de combustión y contribuye al buen comportamiento del grupo en régimen de carga parcial con un buen rendimiento efectivo.

### 3.2. Información técnica

Denominaciones:

- Motor 48/60 tipo A.
- Turbosoplante tipo NA 48/S.

Tablas de datos:

Potencia	18900 Kw.
Temperatura del aire	33°C.
Temperatura de agua de sobrealimentación	44°C.
Presión de aire	1 bar.
Velocidad del motor	514 rpm
Sentido de giro	dextrógiro
Velocidad máxima de la turbosoplante	18600 rpm
Presión media eficaz	22,6 bar
Presión de encendido	180 bar
Velocidad media entre émbolos	10,3 m/s
Relación de compresión	14,4
Consumo medio de F.O	184 g/kwh

Tabla 1. Potencia y consumo

Diámetro de cilindro	480 mm
Carrera	600 mm
Cilindrada por cilindro	108,50 dm <sup>3</sup>
Distancia entre cilindros	1000 mm

Secuencia de encendido	A1-B1-A3-B3-A5-B5-A7-B7-A9-B9-A8-B8-A6-B6-A4-B4-A2-B2
Válvula de admisión	Apertura 52° antes de PMS Cierre 38° después de PMI
Válvula de escape	Apertura 63° antes de PMI Cierre 44° después de PMS
Solape de válvulas	Durante 96° de cigüeñal
Válvula de arranque	Apertura 2 o 3° después de PMS Cierre 116°±2 después de PMS

Tabla 2. Datos técnicos

Aire entrada compresor	Máximo 45°C
Aire a la entrada del cilindro	Entre 45 y 58°C
Gases de escape salida cilindro	Máximo 470°C
Desviación máxima gases de escape entre cilindros	± 50°C
Gases de escape entrada turbosoplante	Máximo 650°C
Gases de escape salida turbosoplante	Máximo 570°C
Agua salida motor	Entre 90 y 95°C
Agua entrada inyector	Entre 80 y 85°C
Agua circuito de baja	Máximo 38°C
Aceite entrada motor	Entre 50 y 55°C
HFO 380	140°C
Diésel	50°C
Aire de arranque	Entre 15 y 30 bar
Aire de control / instrumentos	Entre 5,5 y 8 bar
Diferencial entrada / salida enfriadores de aire de carga	Máximo 50 mbar

Aceite lubricante entrada motor	Entre 4 y 5 bar
Aceite lubricante entrada turbosoplante	Entre 1,5 y 1,7 bar
Agua de refrigeración de inyectores	Entre 3 y 5 bar
Enfriador de aire de carga	Entre 2 y 4 bar
Agua refrigeración LT y HT	Entre 3 y 4 bar

**Tabla 3. Temperaturas y presiones**

Tuberías de aire de control	12 bar
Culata	10 bar
Camisa de cilindro	7 bar
Enfriador de aire de carga	4 bar
Inyector	12 bar
Refrigeración de inyector	7 bar
Refrigeración de cilindros	7 bar
Tuberías de combustible	20 bar
Tuberías de aceite	10 bar

**Tabla 4. Presiones para pruebas de estanqueidad**

## 4. Organización previa

Organizar, programar y posteriormente plasmar en documentos las bases sobre las que se fundamentará el trabajo derivado de un mantenimiento necesario para la continuidad del funcionamiento de cualquier instalación, nos da como consecuencia una ejecución ordenada y un aumento de la efectividad a largo plazo. Realizar las tareas con programaciones hechas sobre la marcha genera muchos tiempos muertos, recursos humanos y materiales desaprovechados, en definitiva el caos, y normalmente se traduce en un gran aumento de los tiempos de ejecución. Se trata de un trabajo que se puede realizar



con tiempo de antelación, sin demasiado estrés y empleando un equipo de personas muy reducido, está más que demostrado que en la práctica los beneficios de tales acciones son mucho mayores que el gasto económico y de tiempo empleado.

#### **4.1. Alcance de los trabajos mecánicos**

La contratación por parte de los responsables de la instalación, con frecuencia puede llegar a negociarse con un año de antelación aproximadamente, teniendo en cuenta que un motor del tipo que nos ocupa con una disponibilidad para el servicio de 24/7 puede llegar a las 18000 horas de funcionamiento en un año y medio o dos, prácticamente podemos decir que este tipo de mantenimientos están en continua negociación, son contrataciones bastante habituales y el tema principal del documento es el alcance de la obra a realizar.

Por un lado debemos analizar los trabajos propios del motor, que aunque toman como bases las recomendaciones proporcionadas por los fabricantes, estos elaboran planes de mantenimiento genéricos que, como es lógico, no pueden contemplar las peculiaridades de trabajo de cada máquina instalada. También se debe tener en cuenta que la propia instalación en muchos casos asume con personal propio parte del mantenimiento aprovechando los tiempos de inactividad por necesidad de la producción, por lo que algunos trabajos contemplados en el plan genérico del fabricante estarán hechos cuando se ejecute la obra. A priori, mantener un equipo de trabajo todo el año puede parecer costoso, pero a largo plazo se traduce en un ahorro económico considerable sobre todo en consumo de repuestos, el gasto anual de consumibles en este tipo de máquinas maneja cifras bastante llamativas. Por lo comentado anteriormente, cada parada por mantenimiento mayor de una máquina puede tener un alcance diferente aun tratándose del mismo motor. En esta ocasión se determinó lo siguiente:

Primera toma de flexiones:

- Desmontar tapas de cárter.
- Toma de flexiones.
- Anotar resultados en hoja de datos.

Limpieza de cárter:

- Limpiar y proteger con tapones los retornos de aceite al tanque.

Desmontaje, limpieza y montaje de tuberías de culatas:

- Desmontar tuberías de agua de refrigeración.
- Desmontar tuberías de aceite de lubricación.

- Desmontar tuberías de combustible.
- Desmontar tuberías de aire de arranque.
- Desmontar tuberías y grifos indicadores.
- Desacoplar colectores de escape.
- Desmontar pasos de agua de culatas.
- Limpiar las tuberías exteriormente.
- Limpiar las tuberías interiormente.
- Limpiar colectores de aire de carga.
- Soplar las tuberías con aire a presión.
- Limpiar residuos de juntas en bridas.
- Pulir superficies unión bridas.
- Limpiar roscas de racores. Verificar su estado y proteger hasta su montaje.
- Reacondicionar pasos de entrada y salida de agua de refrigeración.
- Montaje.

Desmontaje, limpieza y reacondicionado de cajas de balancines:

- Abrir tapas de balancines.
- Aflojar cajas, maniobra de izado y traslado a zona de trabajo.
- Desmontar barras de balancines.
- Limpieza y reconocimiento de elementos.
- Desmontar cajas A4 y B4, reconocimiento de ejes y casquillos y sustitución de juntas.
- Acopio y protección hasta su montaje.
- Montaje.

Desmontaje, limpieza y reacondicionado de culatas:

- Desmontar tapones de pernos de anclaje al bloque.
- Aflojar tuercas según procedimiento.
- Retirar tuercas en bandejas para su limpieza e inspección.
- Maniobra de izado y traslado a taller.
- Desmontar válvulas de seguridad, arranque, admisión, escape y tapones ciegos.
- Desmontar de inyectores.
- Desmontar tubos de agua.
- Desmontar tapas registro de cámaras agua.
- Limpiar culatas.

- Esmerilar asientos canastillas escape.
- Esmerilar asientos de inyectores.
- Esmerilar asientos válvulas de arranque.
- Esmerilar asientos tapones ciegos.
- Esmerilar asiento de culata al bloque.
- Reacondicionar válvulas de arranque.
- Montaje y pruebas hidráulicas.

Reacondicionado de válvulas de escape:

- Desmontar.
- Limpiar.
- Esmerilar asiento de canastillas en culatas.
- Rectificar asientos de canastilla. Medición y control de tolerancias.
- Rectificar asientos de válvulas. Medición y control de tolerancias.
- Inspección y control de guías de válvulas.
- Montaje.

Reacondicionado de válvulas de admisión:

- Desmontar.
- Limpiar.
- Rectificar asientos postizos en culatas. Medición y control de tolerancias.
- Rectificar asientos de válvulas. Medición y control de tolerancias.
- Inspección y control de guías de válvulas.
- Montaje.

Reacondicionado de válvulas de arranque:

- Desmontar.
- Limpiar.
- Montar.

Reacondicionado de rotocaps:

- Desmontar.
- Limpiar e inspeccionar elementos internos del rodamiento.
- Lubricar y montar.

Tapas del cárter:

- Limpiar.

- Inspección y control de las válvulas de seguridad por sobrepresión.
- Inspección y control de juntas de cierre.
- Acopio hasta montaje.

Tapas de ejes de levas:

- Limpiar.
- Inspección y control de juntas de cierre.
- Acopio hasta montaje.

Cojinetes de bancada:

- Desmontar cojinetes nº 4 y nº8.
- Limpieza, inspección y control de los cojinetes desmontados.
- Montaje.
- Toma de huelgos.

Cojinetes de cabeza de biela:

- Desmontar cojinetes A4, B4, A8 y B8.
- Limpieza, inspección y control de los cojinetes desmontados.
- Montaje.
- Toma de huelgos.

Desmontaje, limpieza y reacondicionado de pistones:

- Aflojar tuercas de pie de biela.
- Maniobra de izado y traslado hasta zona e trabajo.
- Limpiar.
- Desembulonar los conjuntos pie de biela – pistón.
- Inspección de casquillos y bulones.
- Montaje.
- Desmontar todos los segmentos.
- Limpiar cajeras y control de tolerancias.
- Control de estiramiento de pernos de pie de biela.
- Acopio hasta montaje en motor.

Válvula principal de aire de arranque:

- Desmontar del motor.
- Maniobra de izado y traslado al taller.
- Desmontar y limpiar.

- Montar sustituyendo juntas y retenes.
- Montaje en motor.

#### Reacondicionado de inyectores:

- Desmontar y limpiar.
- Verificar estado de asientos de toberas.
- Montaje con toberas nuevas.
- Prueba de estanqueidad y timbrado.
- Acopio hasta montaje en culatas.

#### Bombas de inyección:

- Desmontar del motor.
- Maniobra de izado y transporte a taller.
- Desmontar y limpiar todas las piezas.
- Inspección y control de camisas y elementos.
- Rectificar asientos de cabeza de bombas.
- Montaje.
- Acopio hasta montaje en motor.

#### Camisas:

- Desmontar del bloque motor.
- Maniobra de izado y transporte a zona de trabajo.
- Limpiar y bruñir.
- Control de ovalamiento.
- Sustituir juntas tóricas.
- Montaje en bloque motor.

#### Aros de alma superior:

- Desmontar.
- Limpiar e inspeccionar.
- Acopio hasta montaje en bloque motor.

#### Enfriadores de aire de carga:

- Desmontar tuberías de entrada y salida de agua.
- Desabrochar pernos de anclaje.
- Maniobra de izado y traslado al taller.
- Desmontar tapas de cierre.

- Limpiar tapas y tuberías.
- Limpiar enfriador mediante ultrasonidos.
- Montaje de tapas y pruebas de estanqueidad.
- Montaje en motor.

Limpieza general del bloque motor y eje de levas:

- Limpiar y desengrasar el bloque y eje de levas.
- Inspección y control de su estado.
- Limpiar y soplar tuberías y alojamientos.

Taques y rodillos:

- Desmontar taques del cilindro A5 y B5 del motor. Admisión, escape e inyección.
- Maniobra de izado y traslado al taller.
- Desmontar, limpiar e inspeccionar.
- Montar y devolver al motor.

Reapriete general del motor:

- Control del apriete de los tornillos de fundamento.
- Control de apriete de las uniones con tornillos.

Acoplamiento elástico:

- Limpiar.
- Inspección visual.

Colectores de drenaje:

- Desmontar colectores.
- Inspección y control de las uniones.
- Limpiar y montar.

Varillaje regulador y bombas de inyección:

- Limpiar.
- Inspección y control de holguras en casquillos y rotulas.
- Verificar buena movilidad general.

Cojinetes del árbol de levas y seguidores de levas:

- Desmontar cojinetes de levas A9,B9,A1 y B1.
- Limpiar e inspeccionar.

- Lubricar y montar.
- Control de casquillos de seguidores de levas A9 y B9.
- Inspección general y toma de huelgos.

Engranajes de distribución:

- Limpiar.
- Inspección y control.
- Toma de huelgos.

Mantenimiento de turbocompresores:

- Desmontar, empaquetar y enviar a taller especializado.
- Reacondicionado y equilibrado.
- Montaje en motor con juntas nuevas y cojinetes reacondicionados.
- Toma de huelgos.

Montaje de todos los elementos inspeccionados y reacondicionados en orden inverso y reglaje de válvulas de admisión y escape. Pruebas de circuitos toma de flexiones final y acompañamiento en rodaje hasta su conclusión.

Para completar la parte mecánica, aunque no vamos a desarrollarlo en este documento, debemos mencionar los trabajos a realizar sobre los servicios auxiliares que hacen posible el funcionamiento del motor principal. Las actividades principales se centran en los circuitos de fluidos, principalmente en los distintos tipos de bombas, tanques de almacenamiento, intercambiadores de calor y válvulas. Los trabajos en servicios auxiliares para esta revisión fueron los siguientes:

- Reacondicionado de bombas de aceite de cárter.
- Reacondicionado de bombas de agua de refrigeración L.T (low temperature).
- Reacondicionado de bombas de refrigeración H.T (high temperature).
- Reacondicionado de bombas de agua de refrigeración de toberas.
- Reacondicionado de bomba de precalentamiento de agua de H.T (high temperature).
- Reacondicionado de bombas de alimentación de agua de caldereta de gases de escape.
- Reacondicionado de bombas de recirculación de caldereta de gases de escape.
- Reacondicionado de bombas de alimentación de combustible.
- Reacondicionado de bombas de alta presión de combustible.

- Limpieza y reacondicionado de filtros de combustible.
- Limpieza y reacondicionado de filtro automático de aceite.
- Limpieza y reacondicionado de filtro estático de aceite.
- Limpieza y reacondicionado del intercambiador de agua L.T (low temperature).
- Limpieza y reacondicionado del intercambiador de agua H.T (high temperature).
- Limpieza y reacondicionado del enfriador de aceite.
- Limpieza y reacondicionado de los calentadores finales de fuel.
- Mantenimiento completo de separadora de aceite.
- Revisión del buen funcionamiento de todas las válvulas de circuitos principales.

A todo esto siempre abra que añadir los trabajos imprevistos que surgieron como pequeñas reparaciones de soldadura, pernos y sujeciones que se rompen en el proceso de desmontaje o que se encuentran en mal estado, sustitución de elementos de pequeña envergadura que no se contemplan de manera genérica, etc. Todo ello se añade mediante anexos una vez finalizados los trabajos para no generar interrupciones en la programación.

#### **4.2. Tiempo de ejecución de los trabajos**

De la misma forma que el alcance de la obra va apareada a lo que ha quedado reflejado el contrato por obra y servicio pactado previamente, el tiempo máximo de ejecución queda también preestablecido con anterioridad en este documento. En nuestro caso, el tiempo máximo se estableció en 25 días desde el inicio de inactividad de la máquina. Normalmente, según la experiencia y la documentación histórica analizada, la media en este tipo de mantenimientos esta alrededor de los 20 días de trabajo pero siempre se debe dejar un margen de error para posibles imprevistos graves que puedan surgir, no hay que olvidar que el incumplimiento de un contrato siempre conllevará consecuencias negativas para todos los involucrados. La duración final de la obra que nos ocupa fue de 18 días.

#### **4.3. Coordinación entre empresas**

Podríamos decir que este es el punto más importante a tener en cuenta para la buena ejecución en tiempo y forma de la revisión, y por supuesto, para que puedan realizarse tantas actividades al mismo tiempo en condiciones de seguridad adecuada sin tener que lamentar incidentes ni accidentes.



Desde el segundo día después de dar comienzo la obra, se establece una reunión de coordinación diaria que tendrá como hora prevista las 10:00 de la mañana. A esta reunión acuden los supervisores y jefes de trabajo de todas las empresas involucradas estén o no realizando actividades en esa jornada. La duración será variable en función del tiempo requerido para dejar bien organizados los trabajos futuros y gestionado todo lo necesario en ese momento concreto, como pueden ser temas logísticos de material, uso de instalaciones y herramientas comunes, todo lo relativo a la seguridad y gestión de residuos. La reunión estará estructurada en tres puntos principales:

- Trabajos concluidos y punto en el que nos encontramos.
- Trabajos a realizar hasta la próxima reunión.
- Seguridad y medio ambiente.

La primera parte nos da la imagen real de donde nos encontramos para comparar con los objetivos teóricos y poder realizar reprogramaciones al respecto. La segunda parte nos sirve para organizar la jornada en curso en sus turnos de día y noche hasta el siguiente encuentro. Lo más importante para las empresas en este punto es conocer todas las actividades que se van a realizar en las inmediaciones de sus zonas de acción, en muchas ocasiones coinciden dos actividades en la misma zona o demasiado próximas para que puedan realizarse al mismo tiempo y debemos decidir a cual le damos prioridad.

En cuanto al tercer punto, se tratarán las incidencias del trabajo ya realizado si las hubiera y se gestionarán los recursos que vayan siendo necesarios según la evolución de la obra en materia de residuos; su recogida, empaquetado y etiquetado para posteriormente almacenarlos en el lugar adecuado. Hay que tener muy en cuenta esta parte de la actividad laboral, las labores de limpieza y reacondicionado en este tipo de revisiones pueden llegar a ocupar el 60 o 70 por ciento del tiempo total empleado, la cantidad de residuos por hora que se producen debido a las diferentes actividades es de un volumen considerable y tienden a acumularse en zonas de paso que, en muchas ocasiones, producen estrechamientos y reducen la visibilidad de los operarios. El orden y la limpieza deben estar presentes en todo momento, es la base fundamental de un entorno laboral cómodo y seguro. Como complemento en este punto, el personal dedicado estrictamente a la parte de prevención y seguridad laboral puntualizará las medidas a tomar en los trabajos con consideraciones especiales que se estén programando (trabajos en altura, recintos confinados, atmósferas ATEX, etc). Esta parte es importante escucharla con atención porque aunque todos los presentes conocerán de sobra la normativa a aplicar, existen peculiaridades de obligado cumplimiento en cada instalación que son superiores a la normativa habitual por distintas razones. Por otro lado nos sirve a todos los participantes como curso rápido de reciclaje en

materia de seguridad, puesto que tendemos a estar oxidados en actividades que no solemos realizar por dedicarnos a campos distintos.

La experiencia nos dice que resulta mucho más efectivo para el conjunto de empresas que este tipo de reuniones se realicen con la presencia de todos los involucrados y no de forma individual, aunque alguno de los presentes no realice actividad alguna en lo futuramente programado. Por un lado reducimos el tiempo necesario para transmitir y recibir la información, y lo que es más importante genera una seguridad adicional que cada operario tenga conocimiento de lo que ocurre a su alrededor mientras el realiza sus funciones.

#### **4.4. Los recursos humanos**

Los profesionales que forman los equipos de trabajo convivieron durante aproximadamente 20 días en turnos de 12 horas de trabajo, y no solo eso, sino que en muchos casos al ser personal desplazado de su domicilio habitual, convivieron también a nivel personal en alojamientos de la zona, comiendo juntos y en muchos casos también compartiendo habitación. Se trata de un periodo de tiempo relativamente corto de trabajo con un nivel de estrés bastante alto, todo debe estar controlado al milímetro, tiempos de descanso, comidas, servicios suficientes y en condiciones higiénicas, vestuarios con espacio vital suficiente, en fin, velar porque las condiciones de habitabilidad y ergonomía en las instalaciones donde se realizan los trabajos creen un ambiente apacible. Son turnos de muchas horas de trabajo y las horas de descanso deben ser lo más efectivas posibles.

Durante la revisión pasaron por las instalaciones un total de 65 profesionales de las siguientes especialidades:

- 6 técnicos especialistas mecánicos.
- 30 profesionales mecánicos.
- 2 técnicos especialistas en turbosoplantes de gases de escape.
- 2 profesionales en turbosoplantes de gases de escape.
- 1 técnico especialista eléctrico para trabajos en el alternador.
- 4 profesionales eléctricos para trabajos en el alternador.
- 1 Técnico especialista eléctrico para trabajos en el motor y servicios auxiliares.
- 5 profesionales eléctricos para trabajos en el motor y servicios auxiliares.
- 2 técnicos especialistas en instrumentación y control.
- 4 profesionales en instrumentación y control.

- 4 profesionales en aislamiento térmico.
- 4 profesionales en tratamientos de pintura.

Aunque no tienen presencia física en las instalaciones donde se desarrolla el mantenimiento, existen un número de personas que ofrecen soporte técnico en distintas materias de carácter electrónico y de programación de manera no presencial asesorando e incluso solucionando problemas a través de conexiones remotas a la red.

#### 4.5. Los recursos materiales

Cuando nos referimos a los recursos materiales, se tienen en cuenta todos los recursos utilizados por el personal activo de la obra, y podemos agruparlos de la siguiente manera:

- Máquinas y herramientas manuales.
- Máquinas y herramientas de uso común propias de la instalación.
- Útiles específicos del motor.
- Puentes grúa.
- Vehículos y máquinas elevadoras.
- Habitabilidad.

Las máquinas y herramientas manuales son responsabilidad de cada trabajador, normalmente cada profesional tiene una caja o baúl de herramientas debidamente ordenado en el que encontrará todo lo necesario para las actividades que tenga previstas realizar. Las herramientas deben estar en buenas condiciones y sin modificar su estado de fábrica. Podemos encontrar también pequeñas herramientas eléctricas o neumáticas como taladros, amoladoras, pistolas de impacto y turbinas. Las máquinas y herramientas de uso común son de mayor envergadura y suelen tener un emplazamiento estático en los distintos talleres. En esta instalación tenemos disponibles tornos paralelos, fresadora, curvadora, punzonadora, mesa de corte por láser, prensas hidráulicas, sierra sin fin, piedras de desbaste, máquina de limpieza por ultrasonidos, lavadora por aspersión y distintos tipos de soldadura.



Ilustración 2. Mesa de corte por láser

Los útiles del motor son herramientas facilitadas por el fabricante desde su puesta en marcha inicial. Este tipo de herramientas son muy necesarias en procesos específicos de montaje y desmontaje, se debe tener especial cuidado en el mantenimiento y almacenaje de este tipo de elementos porque son tan específicas que solo son suministradas por las casas oficiales y la logística necesaria para hacerlas llegar a destino puede alargarse semanas. Las funciones de estas piezas pueden ser el calado correcto de engranajes, guías de montaje, maestras de comprobación de estiramientos y huelgos, sistemas de elevación equilibrada para piezas no simétricas, gatos y piezas intermedias para el apriete de pernos, etc.

Los puentes grúa son montados integrándose en las estructuras de las naves que contienen las instalaciones, tanto en sala de máquinas como en los talleres. Es un elemento imprescindible en los trabajos de este tipo de máquinas, existen piezas de volúmenes y pesos ingobernables para maquinaria de movimiento de carga manual. El uso está destinado solo para los operarios que tengan autorización y existe un registro de uso en el que estará plasmado el nombre de la persona que utiliza la grúa en cada momento y cuando ha terminado su actividad.



**Ilustración 3. Puente grúa**

Las carretillas elevadoras son el vehículo más utilizado en el traslado de piezas en la actividad que nos ocupa, esto requiere que exista una normativa de circulación que vele por la seguridad de los usuarios, normalmente existe un límite de velocidad de 20 km/h en los exteriores de talleres y salas de máquinas y de 5 km/h en el interior. Normalmente las cargas son transportadas en palés y debidamente fijadas a la máquina para evitar desplazamientos no deseados de la carga. Para algunos trabajos en altura a veces es necesario utilizar algún tipo de máquina elevadora de personas, estas son requeridas a medida que van siendo necesarias para el desarrollo de las actividades. Sobra decir que toda máquina autopropulsada debe estar al día en sus revisiones y cumplir con la normativa europea vigente.



Ilustración 4. Máquinas autopropulsadas

Por último, se disponen módulos portátiles como vestuarios, oficinas, comedor y baños para acoger a todo el personal ya que las instalaciones no están preparadas para soportar tal cantidad de personas al mismo tiempo. Los mismos operarios se organizan para la limpieza y mantenimiento de estas zonas comunes.



Ilustración 5. Caseta modular aislada de la instalación, vestuario

#### 4.6. Turnos de trabajo

Como hemos puntualizado anteriormente, nos centramos en este documento en los trabajos a realizar que forman parte de la programación del departamento mecánico, sin dejar de tener en cuenta que en el mismo periodo de tiempo confluyen otras actividades como trabajos eléctricos, de instrumentación y control, de aislamiento, de pintura, de estructuras, y algunos otros menos habituales, que necesitan también su espacio físico y de tiempo para llevar a cabo sus mantenimientos. Los turnos tendrán una duración máxima de 12 horas con un mínimo de 12 horas de descanso posteriores a la jornada, el número máximo de jornadas ininterrumpidas será de 14, debiendo tener una jornada libre completa en el día 15.

El personal encargado del motor principal se dividió en dos grupos de trabajo, turno de mañana, de 07:00 a 19:00 horas, y turno de noche, de 19:00 a 07:00 horas. A su vez los grupos se dividieron en otros dos grupos, uno que se encargó de los trabajos en taller y otro de los trabajos sobre el propio motor. Cada turno de trabajo tuvo un supervisor de campo y

estos a su vez tuvieron un supervisor general de la obra que estuvo disponible a cualquier hora y gestionó sus descansos según los acontecimientos.

El personal encargado de los servicios auxiliares trabajó solo en jornada de mañana y tuvo un supervisor general y tantos jefes de trabajo como trabajos activos se iban sucediendo.

<b>Operarios mecánicos</b>				
	Motor	Taller	Servicios auxiliares	Total
Turno de mañana	6	6	12	24
Turno de noche	4	4	0	8

**Tabla 5. Operarios mantenimiento mecánico**

A los operarios reflejados en la tabla anterior tenemos que sumarles los 4 supervisores y el personal especializado en el mantenimiento de las turbosoplantes, otros 4 profesionales desplazados exclusivamente para esto y que estuvieron en campo el primer y segundo día de revisión para desmantelamiento de las piezas a reacondicionar y el día quince para el montaje. Por lo que el total del equipo mecánico de trabajo que se constituyó para esta obra fue de 40 personas. Esta situación se mantuvo hasta el día 15 de revisión, en el que se suprimió el turno de noche por considerarse innecesario debido al progreso alcanzado. El personal de noche se incorporó después de su descanso de 12 horas al turno de mañana.

<b>Comidas y descansos</b>	
Desayuno	09:30 a 10:00
Descanso	12:00 a 12:15
Almuerzo	14:30 a 16:00
Cena	22:30 a 00.00
Descanso	03:00 a 03:30

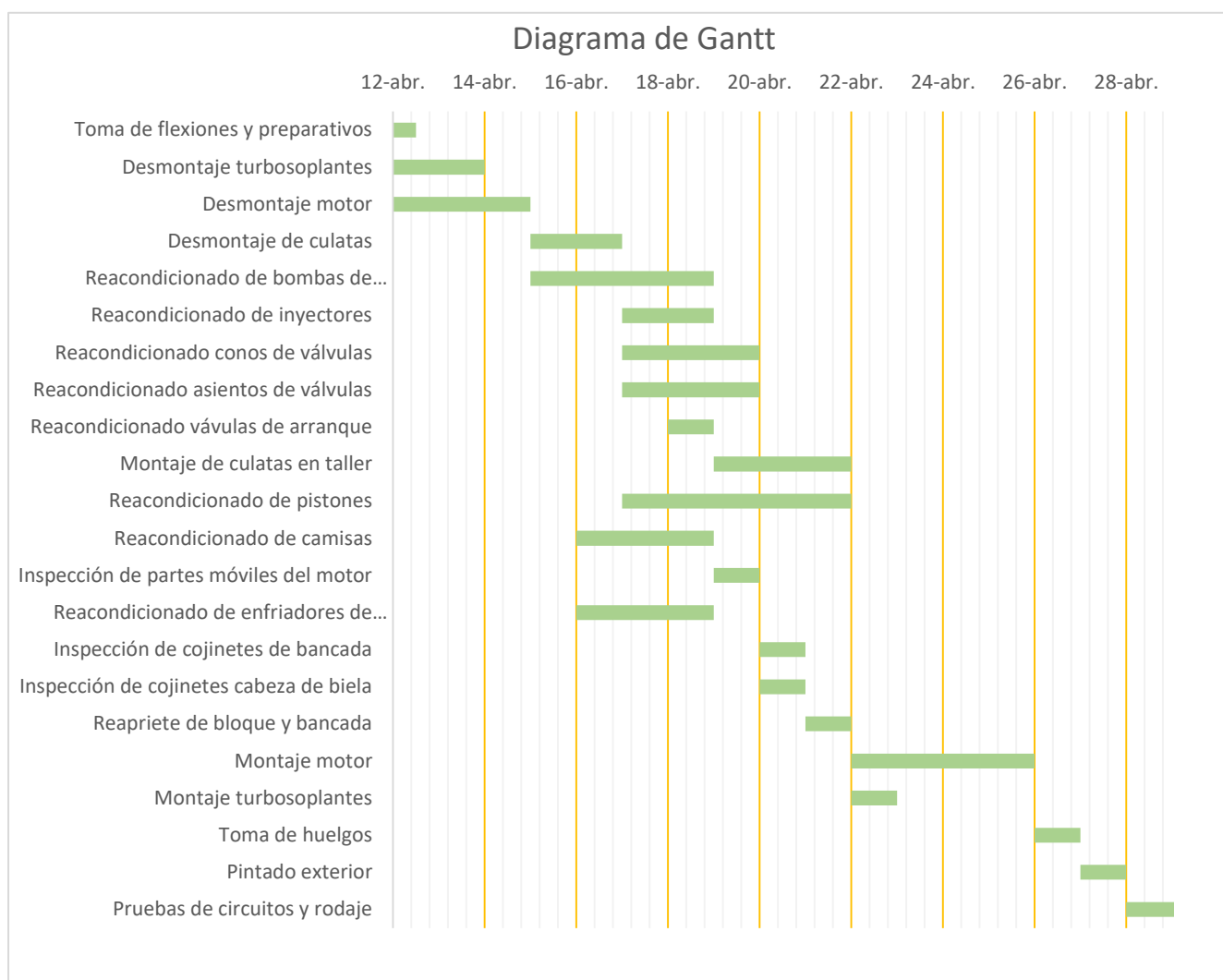
**Tabla 6. Pausas durante la jornada**

Las horas de comienzo y fin de comidas y descansos son relativamente flexibles atendiendo a las circunstancias en las que se encuentren las tareas en cada momento, pero siempre respetando los periodos mínimos establecidos. La tarea del supervisor en este tema

es crucial, debe ser capaz de reprogramar los horarios atendiendo a lo descrito anteriormente, velando por la seguridad y el bienestar de sus subordinados y al mismo tiempo dándole ritmo a las actividades para que la cronología se vaya materializando según lo previsto.

## 5. Desarrollo de la revisión

Con los deberes hechos llego el día de comienzo de la actividad, para poder materializar en soporte digital la secuencia que debía seguir la obra se hizo uso del diagrama de Gantt, tomando como referencia las actividades principales o de mayor relevancia. Al término del mantenimiento pudimos comprobar que lo graficado en el diagrama se ajustó con mucha precisión a la realidad, fruto de una buena planificación previa.



**Tabla 7. Diagrama de programación temporal de la obra**

Antes de comenzar los trabajos se debe cumplimentar una serie de documentación que tiene como finalidad, por un lado conseguir que las condiciones de trabajo que se van a suceder sean seguras acorde a las actividades previstas, y por otro establecer de manera clara los interlocutores y su rol en cada momento y lugar de la obra. Se trata principalmente de realizar acciones preestablecidas para que los distintos servicios auxiliares no tengan posibilidad de suministro de tensión en ninguna circunstancia mientras duren los trabajos, de que exista un corte efectivo de los fluidos a los circuitos en mantenimiento, y la acción de mayor importancia, inhibir el posible arranque del grupo y su motorización. Los procedimientos necesarios se registran en dos documentos principales: Permisos de Trabajo y Descargos.

El único elemento del grupo que mantiene la posibilidad de poner en tensión para su uso en este tipo de revisiones es el denominado virador, un motor-reductor que tiene como finalidad el virado lento y controlado del grupo, necesario en las maniobras de desmantelamiento y montaje del grupo y también en operaciones de regulación que veremos posteriormente. Cuando no sea necesario se encontrará sin tensión y bloqueado físicamente in situ.

### **5.1. Toma de flexiones y preparativos para comenzar los trabajos de desmontaje**

Con los descargos solicitados activados y los permisos de trabajo necesarios en ejecución, el motor se encuentra en condiciones seguras para empezar las labores de mantenimiento, son las 07:00 del día uno y los operarios se organizan para preparar y señalizar las zonas de trabajo. Se realizan balizamientos según normativa vigente, se comprueba la documentación de la maquinaria a utilizar, las fichas de seguridad de los productos, se ubican los acopios de material y herramientas y también se acomodan los módulos de vestuarios, comedor y baños.

Un equipo de tres operarios hace los preparativos para realizar una toma de flexiones del grupo antes de empezar a desvestirlo mientras una pareja abre las tapas de cárter por ambos lados del motor. Esta toma de datos siempre debe hacerse en las condiciones de temperatura más próximas posibles a las que tendría el grupo en *"listo arranque"*, pero existen cuestiones que lo hacen imposible como el no poder realizar la medición con el sistema de lubricación en marcha o mantener unas temperaturas de agua que pongan en riesgo la seguridad de los operarios, se realiza con todos los circuitos de fluidos llenos incluidos tanques de compensación y pulmón de aceite pero con las bombas de circulación paradas (Anexo I).



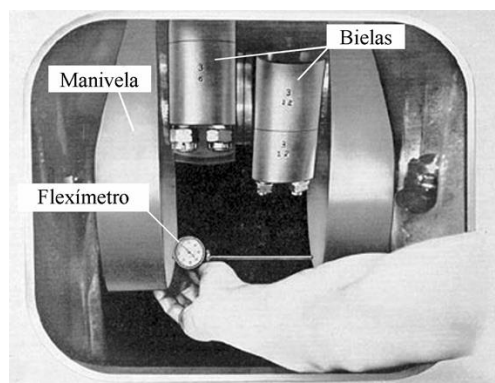


Ilustración 6. Ilustración toma de flexiones

## 5.2. Desmontaje, reacondicionado y montaje de las turbosoplantes

El día uno también entraron en acción los profesionales encargados del mantenimiento de las dos turbosoplantes de gases de escape, comenzando los trabajos de desmontaje a las 16:00 horas. El grupo compuesto por dos técnicos especialistas y dos operarios, necesitaron aproximadamente unas 13 horas efectivas de trabajo para dejar los rotores listos para envió a un taller especializado, terminando esta primera parte del proceso al final de la jornada de mañana del segundo día.

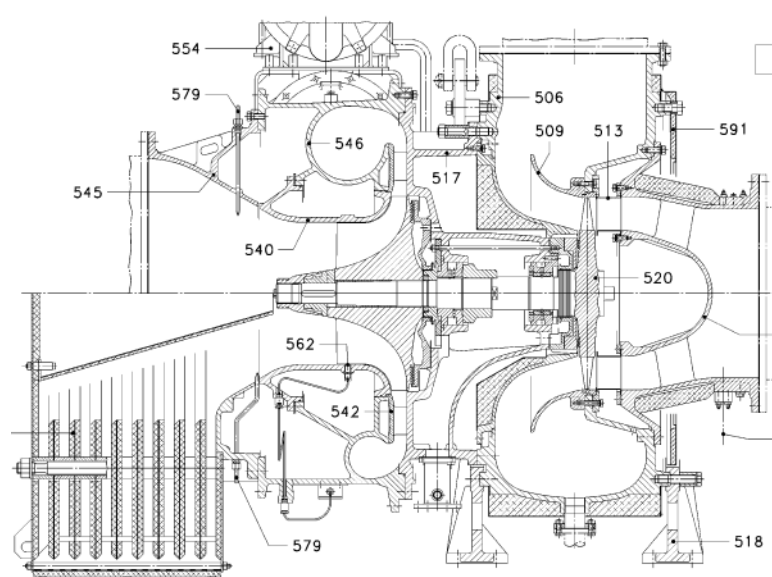


Ilustración 7. Alzado de turbosoplante, manual *Man 48/60 18V tipo A*

Para la ejecución de este trabajo se tuvo que desmantelar el último tramo de colector de escape de cada línea de cilindros que porta el anillo – tobera de gases para poder acceder al lado turbina y del mismo modo se quitó el primer tramo de colector de aspiración por el lado compresor. En este punto se desacopló la rueda compresora, y se extrajo el eje junto con la rueda de la turbina hacia la popa del grupo, todo ello con la ayuda de la grúa.

Una vez que estuvieron los rotores fuera se volvieron a acoplar las ruedas compresoras y se estibarón adecuadamente para su transporte.

Para terminar con las operaciones a realizar en el motor, se desmontan los cojinetes que se reemplazan por unidades nuevas. Los rotores cogen rumbo a un taller especializado donde se realiza su limpieza, reacondicionado y equilibrado. El resto de piezas se limpian y preparan para el montaje en las instalaciones, limpieza mediante chorreo y reacondicionado de roscas. Aunque todas las piezas estaban listas para ensamblar con anterioridad, el momento idóneo para proceder al montaje se dio el día 10 de revisión. Con todo preparado previamente, se montan los rotores reacondicionados con cojinete, juntas y tornillería nuevos y se toman medidas de control de huelgos (Anexo IV). Al finalizar el turno de mañana concluye esta actividad y se puede proceder al montaje de las culatas de los extremos de proa y al cierre de colectores de gases de escape y aire de carga.



**Ilustración 8. Detalle álabes rueda turbina de gases de escape lado B**

### **5.3. Desmontaje del motor**

Sobre las 10:00 de la mañana del primer día comienza la frenética actividad del desmantelamiento completo de todas las partes del motor a reacondicionar, la secuencia fue la siguiente:

- Retirar protecciones calorifugadas de los escapes y aflojar estos de las culatas.
- Separar colectores de admisión y abrir cajas de balancines.
- Con el uso del virador, aflojar pernos de acoplamiento de las cajas de balancines de manera secuencial para no coincidir levas actuando. Bajar a cota cero y transportar hasta zona de trabajo.
- Aflojar culatas, bajar a cota cero y transportar hasta el taller.
- Retirar aros de fuego con ayuda de útil del motor.

- Aflojar conjunto pie de biela-pistón. Retirar cabezas de pistón con ayuda de útiles del motor y bajar a cota cero hasta zona de trabajo. Usar útil de fijado de biela a contrapeso del cigüeñal.
- Retirar camisas de cilindro del bloque, bajar a cota cero y transportar hasta zona de trabajo.
- Retirar enfriadores de aire de carga, bajar a cota cero y transportar hasta el taller.
- Aflojar pernos de anclaje de todas las bombas de inyección, bajar a cota cero y transportar hasta el taller.

Con estas actividades principales terminadas, y abastecidas las distintas zonas de trabajo habilitadas, el personal se distribuye para empezar con labores más específicas, estas labores consumieron las tres primeras jornadas de trabajo.



Ilustración 9. Cáster y levas abierto



Ilustración 10. Piso de culatas desmontado

## 5.4. Trabajos en taller

### 5.4.1. Desmontaje, limpieza y reacondicionado de culatas

En este tipo de motores de gran envergadura, con el fin de salvaguardar la integridad de la pieza única de fundición que conforma la culata, los fabricantes se las ingenian para que las zonas susceptibles a sufrir un mayor desgaste durante su trabajo sean postizas, y como consecuencia puedan ser sustituidas cuando surja la necesidad o cuando su vida útil por horas de funcionamiento llegue a su fin. En el caso del Man 48/60 las válvulas de escape se montan sobre unas piezas postizas denominadas “*canastillas de escape*” que integran el propio cono de válvula y su asiento, también son postizos los asientos de las válvulas de admisión y los inyectores van montados sobre dos camisas postizas que cierran los circuitos de refrigeración.

Con las culatas en el taller, se comenzó la labor de desvestirlas, derivar los inyectores, sus camisas y las válvulas a otras zonas de trabajo, abrir los registros del circuito de agua refrigerante y realizar su limpieza. Los asientos de las válvulas de admisión quedaron en su posición debido a que no han cumplido sus horas límite, aunque eso no exime de comprobar las medidas de tolerancia después del rectificado.



**Ilustración 9. Culata limpia por aspersión**

La primera parte del proceso se realizó utilizando las lavadoras industriales por aspersión del taller, de esta forma se eliminan la mayor parte de los restos de aceites y combustibles no incrustados, aunque esta operación debió ser terminada de forma manual por los operarios. Las culatas limpias y bien lubricadas quedan a la espera de rectificado de asientos, comprobación de tolerancias y montaje de los distintos elementos.



**Ilustración 10. Culatas limpias en taller**

A medida que el trabajo en cadena avanzó, se iban montando los distintos elementos en las culatas para una vez terminadas, realizar las pruebas de estanqueidad de los circuitos de refrigeración, quedando a la espera hasta su montaje en el motor.



Ilustración 11. Culas preparadas para montaje



Ilustración 12. Prueba hidráulica culata

#### 5.4.2. Desmontaje, limpieza y reacondicionado de bombas de inyección

En esta tarea hemos puesto especial atención ya que es una de las principales junto con el reacondicionado de los inyectores en los que se ha logrado obtener un ahorro considerable debido al conocimiento adquirido a lo largo de los años. Se ha conseguido alargar la vida útil de los elementos de desgaste de las bombas llegando por el momento, en el 90 % de las unidades, a aumentar un tercio más las horas de trabajo efectivas de estas. Esto ha sido posible poniendo en práctica un proceso de rectificado de las superficies de contacto a hueso que hacen el cierre entre la cabeza y el cuerpo de la bomba. El 10% restante se han determinado irrecuperables o han presentado avería fortuita antes de cumplir las horas para su mantenimiento preventivo.

En lo que respecta a las averías inesperadas tenemos que puntualizar que al ser un elemento externo adosado al bloque motor, el tiempo de sustitución de una bomba por otra de respeto reacondicionada es de unas 2 horas con una dotación de 2 operarios, sin necesidad de que el circuito de combustible deba quedar indisponible. En conclusión, se

asume un mínimo riesgo y un gasto de tiempo determinado para generar un gran beneficio económico sin llegar a poner en peligro los elementos principales del grupo.



**Ilustración 13. Detalle asiento rectificado de cabeza de bomba de inyección**

Desensamblar las bombas de inyección de su posición en el bloque consumió aproximadamente una jornada de trabajo, una vez ubicadas en el taller sobre soportes fabricados con este fin una pareja de operarios comenzó las tareas de reacondicionado en el orden siguiente:

- Desmontar completamente las bombas y realizar la limpieza de todas las piezas teniendo especial cuidado con el conjunto camisa elemento.
- Limpieza manual del elemento de bomba, lubricación y verificación de holguras en camisa.
- Rectificado de asientos.
- Montaje según manual con pernos, juntas y retenes nuevos.
- Sellado de orificios evitando contaminación.
- Acopio en taller hasta montaje.

Este proceso se prolongó durante 4 días, siendo junto con el rectificado de asientos de válvulas los trabajos con mayor consumo de tiempo. El buen abastecimiento de materiales consumibles en estas dos operaciones y el estado óptimo de la maquinaria utilizada son esenciales para la continuación de las actividades, un parón inesperado de estas, con mucha probabilidad retrasaría el final de la obra.



Ilustración 14. Bombas de inyección terminadas

#### **5.4.3. Desmontaje, limpieza, reacondicionado y timbrado de inyectores**

Este es el segundo punto en el que nos detuvimos a recopilar datos con mayor atención, puesto que también generan un ahorro importante en el ciclo de vida de sus elementos de desgaste, aunque de manera mucho más sencilla. El equipo de mantenimiento ha conseguido alargar la vida útil de las toberas ahorrándose 3 reacondicionados completos entre revisiones mayores, suponiendo no solo un gran ahorro económico sino también de tiempo de indisponibilidad del motor sin que se vean afectados los límites termodinámicos de funcionamiento para la integridad de las distintas piezas y respetando siempre los valores máximos de emisiones establecidos según normativa vigente. El hecho que da pie a poder tener este margen de mejora es la estabilidad en cuanto a condiciones trabajo, se trata de un motor estacionario que trabaja en regímenes de carga muy estables y con variaciones muy lentas y controladas en el 99% de los casos.

Los inyectores fueron preparados en dos jornadas de trabajo, el primer día se consumió con el desmontaje y la limpieza y durante el segundo se montaron y timbraron. Son elementos de fabricación muy sencilla y de secuencia de montaje muy fácil, pero especialmente sensibles a restos sólidos que puedan quedar en sus galerías o en los planos de ajuste a hueso. Por ello la labor que se debe realizar con mayor intensidad es la limpieza del cuerpo y sus galerías de entrada y salida de combustible y agua refrigerante.

Una vez los cuerpos se encontraron debidamente preparados se montaron con toberas nuevas para su timbrado y posteriormente se colocaron las juntas nuevas y se montaron en las culatas.



Ilustración 15. Asiento del cuerpo del inyector



Ilustración 16. Inyector preparado para montaje

#### 5.4.4. Limpieza y rectificado de conos de válvulas

Se aprecia, después de la limpieza, que algunos asientos se encuentran en un estado de deterioro importante, siendo imposible su reacondicionado y las válvulas deben ser sustituidas por unidades nuevas.



Ilustración 17. Detalle asientos de válvula deteriorados

Con todos los conos limpios y realizado un primer descarte mediante una inspección visual, se recuperaron los asientos utilizando una máquina de rectificado por abrasión mediante una piedra de desbaste especial. La válvula se monta entre los puntos de sujeción y una reductora se encarga de hacerla girar lentamente, en el cabezal de la máquina montado sobre una carrilera de avance manual tenemos la piedra acoplada directamente a un motor eléctrico y girando en sentido contrario a la rotación de la válvula. Es una operación delicada que requiere mucha pericia y un excelente estado y calibrado de los



elementos de la rectificadora para conseguir los acabados deseados dentro de las tolerancias admitidas.

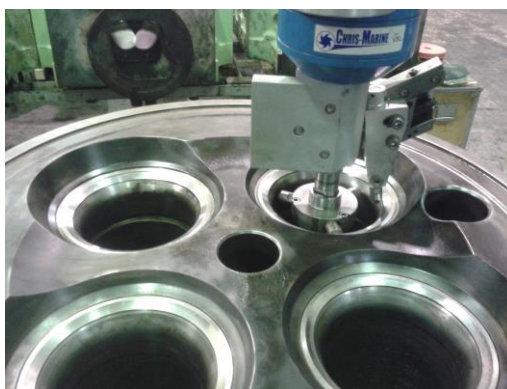


**Ilustración 18. Máquina de rectificado de conos de válvula**

Finalmente hubo que sustituir tres válvulas de escape y sus tres canastillas, ya que estas integran el asiento que no es postizo sobre la canastilla (Anexo II). Posteriormente las canastillas fueron enviadas a reacondicionar a una empresa especializada, los conos se desechan y son gestionados como chatarra.

#### **5.4.5. Rectificado de asientos de válvulas**

Con las culatas limpias, se montaron las canastillas de escape realizando el apriete según manual pero sin montar los conos de válvula. Terminado el proceso se voltearon dejándolas en situación inversa a su posición de trabajo normal para poder instalar la cuchilla de rectificado. La máquina consiste en un motor eléctrico que hace girar una cuchilla de vidia describiendo una circunferencia, la velocidad de giro es controlada por un variador, otro sistema hace que se desplace la cuchilla en cada giro hacia el exterior y hacia arriba describiendo el ángulo deseado. Este es un proceso lento y que lleva especial cuidado, es el ojo del operario el que determina cuando el rectificado es suficiente y hay que buscar un equilibrio entre quitarle la mínima vida posible al asiento y dejarla libre de golpes e imperfecciones derivadas del trabajo para conseguir un buen cierre contra su cono.



**Ilustración 19. Proceso de rectificado de asiento**

Una vez rectificadas los 72 asientos, se tomaron medidas para comprobar que estaban dentro de tolerancias (Anexo II) y acto seguido se les realizó un ensayo no destructivo para verificar la ausencia de grietas que pueden surgir debido a los cambios térmicos sufridos durante su periodo de trabajo antes de revisión y también durante el proceso de rectificado.



**Ilustración 20. Ensayo no destructivo, búsqueda de grietas**

Con los asientos terminados, se van posicionando los conos en las culatas de forma aleatoria, para de forma manual realizar un último ajuste sobre el asiento por medio de la técnica de esmerilado. Este proceso da el toque de ajuste fino de cada cono con su asiento en la culata consiguiendo un cierre perfecto desde el primer ciclo de combustión de la máquina. Finalmente después de una última limpieza para eliminar las impurezas generadas por el proceso anterior, se termina el montaje del sistema de aspiración y escape de las culatas.

#### **5.4.6. Desmontaje, limpieza y reacondicionado de válvulas de arranque**

En este tipo de motores de gran envergadura se instalan sistemas de arranque por aire a 30kg/cm<sup>2</sup>. A través de una secuencia accionada por una leva que respeta el orden de encendido se van abriendo las válvulas en el momento en el que el pistón comienza su carrera descendente aplicando la fuerza sobre todo el diámetro y dando lugar a que la máquina adquiera las revoluciones necesarias para el arranque. Las válvulas se encuentran instaladas en las propias culatas, solo en una de las líneas de cilindros.

Aunque son elementos de uso momentáneo, no existe otra forma de poner en movimiento el motor desde cero, su reacondicionado aunque es sencillo debe ser perfecto y cualquier anomalía por pequeña que sea debe ser valorada. Consistió en realizar una limpieza manual y una vez limpias esmerilar levemente el cono sobre su asiento para volver a montarlas con los mismos elementos. Al ser piezas que realizan su trabajo en intervalos

de tiempo muy corto y sin tener contacto con fluidos líquidos se encontraban en muy buen estado, el trabajo completo hasta su montaje en las culatas duro una jornada de trabajo.



Ilustración 21. Válvulas de arranque desmontadas

#### 5.4.7. Desmontaje, limpieza y reacondicionado de pistones

Como se comentó brevemente en el desmontaje del grupo, este motor tiene la peculiaridad de que la biela no está compuesta por una sola pieza, está dividida en dos, quedando por una parte la cabeza y el cuerpo de biela que quedan abrochadas al cigüeñal en este tipo de mantenimientos, y por el otro el pie de biela que queda unida a la cabeza del pistón por medio del bulón. Cuando desmontamos las cabezas de pistón y las bajamos a la zona de trabajo en cota cero nos traemos también los pie de biela con ellas. Sabiendo esto, aunque esta actividad está destinada principalmente a recuperar los pistones, se realizaron también la limpieza e inspección de los elementos de los pie de biela siguiendo la secuencia siguiente:

- Limpiar cajas de cabeza de pistón y medir.
- Extraer bulón y separar pies de biela.
- Desmontar cabezas de pistón de faldillas.
- Limpieza general.
- Medir cajas porta aros.
- Montar faldillas en cabezas de pistón.
- Montar pies de biela en bulones y medir tolerancias.
- Montar pies de biela en pistones.
- Medir estiramientos de pernos de pie de biela.
- Montar aros de pistón nuevos.



Ilustración 22. Medición cajera



Ilustración 23. Medidas de holgura de casquillo y estiramiento de pernos

Los pistones montados quedan a la espera del proceso de montaje en el motor, esta actividad consumió 5 jornadas completas, las labores de limpieza de las cabezas de pistón se llevan la mayor parte del tiempo dejarlas en condiciones de montaje es muy costoso físicamente, las incrustaciones y residuos de la combustión se adhieren fuertemente al metal y los opera se emplean a fondo con herramientas eléctricas y neumáticas para conseguir un acabado adecuado.

#### 5.4.8. Limpieza y bruñido de camisas

Las camisas de cilindro se limpiaron de manera manual por varios operarios y después pasaron al proceso del bruñido, en total tres jornadas de trabajo para quedar listas para montaje. Se tomaron medidas antes y después del bruñido (Anexo II). La máquina de bruñir consiste en una cruceta porta herramientas sobre la que van montadas las piedras, esta cruceta va acoplada a un motor neumático que la hace girar y la fuerza centrífuga generada por el giro es suficiente para que las piedras se desplacen hacia la superficie interior de la camisa de cilindro. Variando el flujo de aire aumentamos o disminuimos las

revoluciones dentro de los límites permitidos. Un polipasto neumático en manos de un operador le da el movimiento vertical de manera manual para conseguir darle al acabado los ángulos deseados.



Ilustración 24. Máquina de bruñido

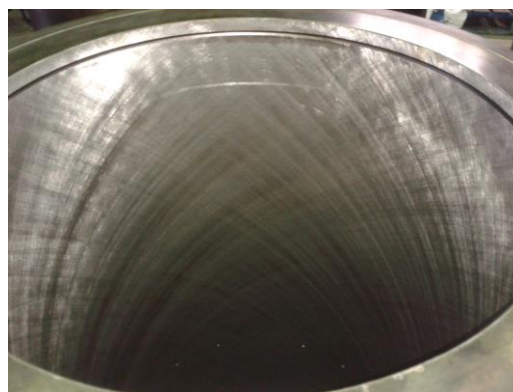


Ilustración 25. Detalle camisa bruñida

#### **5.5.9. Inspección de taqués de accionamiento de válvulas y bombas de inyección**

Aunque los taqués son piezas de una construcción muy robusta se debe hacer una inspección selectiva de algunos de ellos para poder determinar el estado general que tiene el conjunto. Una avería fortuita de uno de estos elementos podría causar una indisponibilidad de más de un día por el lugar donde se encuentran ubicados siendo muy laborioso llegar hasta ellos, además la probabilidad de que la leva sufra algún tipo de daño es muy alta. En esta ocasión se desmontaron, limpiaron e inspeccionaron las unidades lo los cilindros A5 y B5.

#### **5.4.10. Limpieza de elementos no principales**

Debido a la cantidad de cosas que suceden al mismo tiempo en este tipo de mantenimientos, nos fue imposible estar físicamente y documentar todos los procesos con detalle, centrándonos en los elementos más importantes del motor. Lo que si podemos asegurar sin lugar a dudas que las labores de limpieza industrial pueden llegar a abarcar el 70 u 80 % del tiempo total de la obra. Debido al tipo de tecnología los residuos generados no deseados en el interior de las distintas piezas y tuberías es muy importante. Las labores de limpieza industrial duraron desde el desmontaje inicial hasta ya empezado el montaje, solo tres días antes del arranque en rodaje del motor. La complejidad constructiva de

algunas piezas y tramos de tuberías hizo casi imposible que muchos de los elementos se pudieran limpiar mediante las lavadoras por aspersión y otros métodos automáticos, se tuvieron que realizar de manera manual lo cual requirió mucha dedicación de los operarios.

#### 5.4.11. Limpieza y reacondicionado de enfriadores de aire de carga

Los enormes enfriadores de aire de carga son el pulmón de los motores, un buen estado de estos que consiga un intercambio de temperatura óptimo nos da la posibilidad de trabajar en buenas condiciones a regímenes de potencia altos. A pesar de ser elementos de gran volumen y peso, su proceso de desmontaje es simple y rápido, aproximadamente 4 horas en total, pero su reacondicionado una vez fuera del motor nos llevó dos días y medio. El proceso de limpieza y reacondicionado fue el siguiente:

- Desmontar tapas trasera y delantera y limpiar juntas de klingerit.
- Limpiar con agua a presión.
- Meter en cuba a 60°C con limpiador de enfriadores 24 horas.
- Limpiar con agua a presión.
- Meter en lavadora ultrasonidos 4 horas.
- Limpiar con agua a presión y comprobar su estado de paso de flujo entre los haces tubulares en tresbolillo.
- Si el resultado no es el deseado repetir limpieza en ultrasonidos 2 horas.
- Limpiar con agua a presión.
- Montar tapas con juntas nuevas.
- Realizar prueba hidráulica a 4kg/cm<sup>2</sup>.



Ilustración 26. Limpieza de enfriador con agua a presión

## 5.5. Trabajos en campo

Para los trabajos que se realizan en el motor una vez este se encuentra desmantelado, los operarios deben acceder a las partes móviles, lo que entraña un riesgo muy importante para la seguridad de los trabajadores. En todo momento debe existir un control absoluto de la movilidad del virador por parte del supervisor del equipo de trabajo que se encuentre activo, hasta que dicha actividad concluya y todo el personal este fuera del motor. Este control se materializa en permiso de trabajo con descargo sobre la parte eléctrica del sistema de virado, que lo mantiene bloqueado y sin tensión hasta que uno de los supervisores solicita su uso y asume la coordinación de las actividades que se vayan a desarrollar.

### 5.5.1. Limpieza del bloque

La limpieza del bloque motor se llevó a cabo en 3 jornadas de trabajo. Con el propósito de no contaminar el aceite del cárter de residuos ni de restos químicos procedentes de los desengrasantes, puesto que este motor es de cárter seco, se colocaron tapas de cierre en los desagües que van hacia el tanque de aceite de cárter. Los trabajos comenzaron con la limpieza en la parte alta del bloque en los alojamientos de las camisas de cilindros y fueron bajando hacia el propio cárter. Cuando concluyó la actividad se colocaron ventiladores y extractores de aire para ventilar para posteriormente pudiera acceder el equipo de inspección de cojinetes.



Ilustración 27. Parte alta del bloque, alojamientos  
de camisas de cilindro

### 5.5.2. Cojinetes de bancada

En este tipo de mantenimiento preventivo, se realiza la inspección de dos cojinetes de bancada, normalmente basándose en la información de eventos anteriores. Intentando

siempre no coincidir con los inspeccionados o sustituidos más recientes y basándose en los históricos de temperaturas de los últimos meses. En esta ocasión, toco desmontar e inspeccionar los cojinetes de bancada número cuatro y ocho. En el caso de que los casquillos inspeccionados presenten un deterioro anormal para sus horas de funcionamiento o si existiera algún otro tipo de problema como el desprendimiento de material y debieran ser sustituidos, se seguirán desmontando los demás hasta tener la certeza de que es un hecho aislado. Si los problemas se repiten en todo el conjunto se deben reemplazar todos. La actividad consumió una jornada de trabajo y el procedimiento a seguir fue el siguiente:

- Desmontar pernos laterales de acoplamiento al bloque motor.
- Montar gato de doble efecto en el interior del cárter.
- Aflojar y retirar tuercas de fijación del sombrerete al bloque.
- Bajar sombrerete accionando el gato en sentido vertical descendente.
- Retirar casquillo inferior.
- Colocar útil de empuje de casquillo superior.
- Accionar el virador para rotar el cigüeñal en sentido de extracción del casquillo superior hasta que este fuera totalmente.

Los casquillos inspeccionados presentaron un desgaste normal en la tapilla inferior debido al trabajo realizado entre mantenimientos, las superficies antifricción se recuperaron con una limpieza manual utilizando pliegos de estropajo de fibra verde, no presentaban rayados ni desprendimientos de material, después de la limpieza se lubricaron y montaron siguiendo el proceso en orden inverso.



Ilustración 28. Cojinete bancada n°4

### 5.5.3. Cojinetes de cabeza de biela

Siguiendo los mismos criterios que se han comentado para la bancada, se inspeccionaron dos cilindros previamente seleccionados, por lo que fueron cuatro las



cabezas de biela desmontadas, A4, B4, A8 y B8. Los trabajos se realizaron en una jornada y siguieron la secuencia siguiente:

- Preparar maniobra de bajada/subida con diferenciales de una tonelada a cada lado del cárter y fijar los ganchos a cada extremo del sombrerete.
- Aflojar mediante los gatos hidráulicos y retirar las tuercas de fijación al cuerpo de la biela.
- Realizar maniobra de bajada hasta piso del cárter.
- Colocar útil de empuje de casquillo superior.
- Accionar el virador para extraer tapilla superior.

Los casquillos inspeccionados presentaron un desgaste normal principalmente en la tapilla superior, siendo esta la que está sometida a mayores esfuerzos debido al fuerte impacto recibido durante la fase de combustión. Las superficies antifricción se recuperaron con una limpieza manual utilizando pliegos de estropajo de fibra verde, no presentaban rayados ni desprendimientos de material, después de la limpieza se lubricaron y montaron siguiendo el proceso en orden inverso.



Ilustración 29. Cojinete cabeza de biela A8

#### 5.5.4. Cojinetes de eje de levas y otros elementos acoplados

El eje de levas soporta principalmente las levas de admisión, escape e inyección pero también elementos secundarios de gran importancia como las falsas levas que accionan la apertura de las válvulas de arranque y los seguidores de levas para el accionamiento de las varillas de empuje.

Siguiendo la misma dinámica que para la inspección de los cojinetes del cigüeñal, se decidió previamente inspeccionar los cojinetes de levas A9, B9, A1 y B1. También se desmontaron e inspeccionaron los seguidores de levas A9 y B9. La tarea se realizó en una

jornada de trabajo, al mismo tiempo que se inspeccionaban los cojinetes de bancada, siempre trabajando coordinados para realizar los giros de eje necesarios para que las dos actividades tuvieran continuidad. En cuando al resto de elementos, desde la posición que teníamos se pudo verificar el estado de la parte baja de todos los taqués de accionamiento y estado de los casquillos y rodillos intermedios. Los casquillos revisados no presentaban desprendimiento del material antifricción, el desgaste era normal y acorde con las horas de servicio prestadas, no hubo que sustituir ninguna de las piezas inspeccionadas.



Ilustración 30. Seguidor de leva



Ilustración 31. Falsa leva

### 5.5.5. Reapriete de bloque y bancada

Los aprietes de los pernos de anclaje principales en este tipo de máquinas se realizan mediante gatos hidráulicos por estiramiento de los pernos. Todos los elementos necesarios para realizar estas operaciones son propios del motor excluyendo las bombas hidráulicas de levantamiento de presión que pueden ser de cualquier tipo siempre y cuando estén debidamente calibrados sus manómetros y posean las características recomendadas. Un detalle al que tenemos que prestar una atención especial es el estado en el que se encuentran las mangueras y conexiones hidráulicas, son el elemento más débil de todo el montaje. Los aprietes con los que trabajamos en este motor utilizando este sistema fueron desde 750 hasta 1500 kg/cm<sup>2</sup>, un reventón de una manguera en estas condiciones puede causar daños personales muy importantes, en la mayoría de las actividades los operarios se encuentran muy cerca de estos elementos debido a que el espacio disponible y la lógica de la actividad lo requieren, de ahí la importancia de perder unos minutos en revisar este material que se suele pasar largas temporadas sin usar en sus acopios correspondientes. Las mangueras vienen encapsuladas en una tubería flexible transparente que con la finalidad de absorber el primer impacto del aceite en caso de rotura, aunque la parte de alta

presión este perfectamente no se debe usar ninguna que presente deterioro o rotura del recubrimiento exterior.



**Ilustración 32. Manguera hidráulica alta presión**

La actividad de reapriete se centró en los pernos de anclaje que no fueron involucrados en ninguna operación de desmontaje y montaje como pueden ser los pistones o las culatas, principalmente es una operación de comprobación destinada a la zona baja del motor, bloque, bancada y polín. Se realizó el día previo al comienzo del montaje del motor.



**Ilustración 33. Montaje para apriete por estiramiento**

### **5.5.6. Inspección del volante amortiguador de vibraciones**

En la proa del motor, acoplado a ese extremo del cigüeñal se encuentra montado el volante amortiguador de vibraciones, se trata de un espacio confinado de difícil acceso. El volante está constituido por una sola pieza maciza circular de gran diámetro con taladros en todo su perímetro donde se encuentran alojados los muelles que ayudan a absorber el exceso de vibraciones y a mantener el motor equilibrado. Para poder realizar las tareas de inspección primero hubo que aflojar los tornillos de una tapa de acceso desde el interior del cárter y retirarla, una vez tuvimos acceso a la cámara que encierra este elemento uno de los operarios se coló en su interior mientras otro, manteniendo siempre un control visual de la situación y en constante comunicación verbal con su compañero en el interior, asumió el control del virador.



Ilustración 34. Detalle alojamiento del muelle en volante



Ilustración 35. Muelle preparado para montaje

El operario situado junto al volante con ayuda de un útil específico del motor fue extrayendo uno a uno todos muelles mientras en una mesa en el exterior del cárter eran desmontados e inspeccionados. Una vez que todos fueron extraídos y sin parar se comenzó con la secuencia de montaje hasta completarla.

## 5.6. Montaje del motor

Con todos los elementos desensamblados preparados para su puesta en servicio, comenzó el proceso de montaje en la jornada número 10 dándose por finalizada en al final de la jornada número 24. Las actividades se desarrollaron según la secuencia siguiente:

- Montaje de enfriadores de aire de carga en sus alojamientos.
- Montaje de camisas y aros de fuego.
- Montaje y apriete de pistones.
- Montaje y apriete de bombas de inyección en el bloque.
- Montaje y apriete de culatas.

- Montaje y apriete de cajas de balancines.
- Ensamblar colectores de admisión y escape.
- Montaje de tuberías de conexión de todos los circuitos de fluidos.
- Reglaje de válvulas.

La presencia de casi todo el personal disponible dentro de la sala de máquinas realizando distintas actividades a la vez aumenta mucho el riesgo de incidentes, eso unido al cansancio acumulado por la intensidad de las jornadas y a las ganas individuales de concluir con la obra y retornar a casa genera una situación muy tensa, los supervisores deben agudizar sus sentidos olvidarse de todo lo demás, velar por la seguridad y la continuidad de los trabajos, fue sin duda el momento más estresante de todo el mantenimiento.



Ilustración 36. Culatas montadas



Ilustración 37. Pistones montados



Ilustración 38. Motor montado visto desde popa, línea A

## 5.7. Toma de huelgos

Una correcta toma de medidas nos da información a largo plazo de la evolución de los distintos desgastes o deformaciones de los elementos. Lo ideal sería que existiera un desgaste uniforme de todo el conjunto pero lógicamente es un concepto puramente teórico, si tuviéramos la capacidad de analizar las fuerzas generadas en cada combustión de cada cilindro durante su funcionamiento podríamos ver que aunque se mueven dentro de unos márgenes con patrones que se repiten no son idénticas. Si a esto añadimos las circunstancias externas al motor como el estado del firme del polín, el estado de sus muelles de apoyo, los cambios del subsuelo desde su puesta en funcionamiento hasta hoy o las averías sufridas a lo largo en su trayectoria que han ocasionado desperfectos no reparables en el bloque podemos concluir que los esfuerzos y tensiones a los que está sometido el motor van variando a lo largo del tiempo, y aunque es un proceso muy lento tiene consecuencias visibles. Son máquinas muy robustas que aceptan todas estas variaciones sin que puedan llegar a influir en su objetivo final de conversión de energía, pero las necesidades de mantenimiento del motor van tomando un carácter propio al igual que las de sus distintos elementos. Así dos motores idénticos montados el mismo día en la misma instalación pero en lugares diferentes llegan a tener necesidades de mantenimiento diferentes en las mismas horas de funcionamiento, de la misma forma que componentes iguales dentro de un mismo motor tendrán distintos límites de vida útil.

Por todo ello la toma y registro de huelgos y medidas ordenadas de forma cronológica es una documentación de vital importancia y que influye de manera indirecta en la eficiencia de la instalación, no se trata simplemente de una comprobación instantánea de que todos los elementos cumplen con lo recomendado y se encuentra dentro de rango.

En nuestro caso, la toma de huelgos principal se hizo en la jornada 15, con el motor terminado de montar a excepción de todas las tapas de cierre para tener acceso a las partes móviles. Se llevó a cabo la toma de datos de huelgos en cojinetes de bancada y cabeza de biela, todos los apoyos de los ejes de levas y los ajustes entre dientes de los engranajes que componen la distribución (Anexo II). Algunos otros datos se recogieron durante la realización de los reacondicionados como por ejemplo las holguras entre bulón y casquillo de pie de biela.

## 5.8. Llenado de circuitos y pruebas de estanqueidad y funcionamiento

El montaje del motor ha llegado a su fin y comienza un periodo de la obra en el que todas las empresas involucradas quieren realizar pruebas de funcionamiento de los distintos

elementos manipulados. En primer lugar, necesitamos realizar una modificación de los descargos activos sobre el motor y sus circuitos auxiliares que nos permita manipular los equipos y válvulas para realizar lo requerido por todo el personal involucrado. Para organizar este periodo de pruebas, que se contempla de forma general en el alcance, se precisa realizar una reunión extraordinaria para programar la secuencia de las pruebas y unificarlas pudiendo hacer comprobaciones mecánicas, eléctricas y de instrumentación y control al mismo tiempo si fuera posible.

Con el montaje del motor terminado y todos los servicios auxiliares preparados la primera actividad a llevar a cabo en la jornada 17 fue el llenado y aditivado de los circuitos cerrados de agua de refrigeración: refrigeración de toberas y circuitos de L.T y H.T. Esta operación duro unas dos horas aproximadamente. Paralelamente se llenó el tanque de almacenamiento de aceite de cárter y se arrancó una de las depuradoras de aceite de cárter, con esta maniobra comprobamos el buen funcionamiento del proceso de separación y vamos aumentando poco a poco la temperatura del aceite al hacerla pasar a través del calentador de la propia depuradora. Se realizó un buen reconocimiento de los circuitos para localizar fugas y se realizaron algunos reaprietes en conexiones bridadas sin relevancia. Con este panorama paramos para el desayuno.

Retomamos la actividad sobre las 10:30, nos preparamos para empezar con la puesta en circulación de los distintos fluidos. El objetivo de los observadores mecánicos es detectar rápidamente anomalías en el funcionamiento, principalmente fugas, ruidos anómalos de las máquinas rotativas, temperaturas de trabajo por encima de lo normal o presiones fuera de parámetros nominales. Para ello nos apoyamos en los indicadores analógicos en campo, los datos registrados por el sistema Scada, termómetros digitales y la experiencia y pericia del personal. Hay que tener muy en cuenta la compensación de presiones de los circuitos sobre todo en puntos débiles como los intercambiadores de calor, el hacer circular un solo fluido a su presión nominal puede generar averías de fugas importantes e irreversibles, que pueden tirar por la borda el trabajo de reacondicionado realizado. Lo primero que hicimos fue arrancar las bombas de aceite de cárter, en primer lugar arrancamos la número uno y tras 10 segundos en marcha la paramos, lo que buscamos con este proceso era llenar el circuito sin poner en peligro la integridad del intercambiado agua/ aceite. Al mismo tiempo el personal de mantenimiento eléctrico hacia sus comprobaciones de sentido de giro correcto y parámetros de arranque. Repetimos el proceso con la bomba número dos y acto seguido con las bombas de agua del circuito de baja y alta temperatura y las bombas de agua de mar del circuito abierto. Llegados este

punto pusimos a funcionar todos los circuitos dependientes en el siguiente orden de arranque:

1. Arranque de bomba nº1 de agua de mar.
2. Arranque de bomba nº1 de agua L.T.
3. Arranque de bomba nº1 de aceite de cárter.
4. Arranque de bomba de agua H.T.

Mantuvimos esta situación durante una hora aproximadamente verificando las condiciones termodinámicas de los fluidos, comprobando el funcionamiento del filtro automático de aceite, tomando temperaturas de rodamientos de las distintas bombas, etc. Ya por la tarde se probó el circuito de agua de toberas y el de alimentación y circulación de agua de caldereta de gases de escape siguiendo los mismos pasos que describimos anteriormente para las bombas.

Para concluir con las pruebas pasamos a probar el sistema de combustible solo con gasoil. El módulo de combustible que da servicio a los colectores del motor está compuesto por los siguientes elementos principales: tres bombas de alimentación y dos bombas de alta presión, dos calentadores finales y un tanque de mezcla. Este circuito es quizás el de mayor peligrosidad por el tipo de fluido y las presiones y temperaturas a las que trabaja (HFO 140º y 8kg/cm<sup>2</sup>). A Nivel de motor, el sistema integra dos colectores por cada línea de cilindros, entrada y retorno de combustible, cada línea con sus nueve bombas de inyección con sus conexiones de entrada y salida, en definitiva es un circuito que está compuesto por unos 160 puntos de unión mediante bridas con juntas, todos ellos manipulados durante el mantenimiento. Por todo ello se merece prestar una atención minuciosa. Después de realizar las pruebas de todas las bombas, poner el circuito en condiciones normales de funcionamiento y comprobar manualmente el recorrido de las que las cremalleras de las bombas y la resistencia del sistema antagónico de muelles, se dejó en funcionamiento para inspección durante dos horas, fueron detectadas varias fugas sin importancia que se corrigieron posteriormente durante el turno de noche.

Como parte final de este conjunto de actividades, con todos los circuitos necesarios del motor en sus niveles máximos de capacidad, se pone en funcionamiento el sistema de precalentamiento de agua de cilindros (H.T) y se comprueba la bomba y la estanquidad del circuito. El personal del turno de noche realizó la toma de flexiones final en las mismas condiciones en las que se encontraba durante la primera toma de datos antes del inicio de la obra. De esta manera pudimos obtener una comparativa de los diagramas de flexiones verticales muy fiable (Anexo I).



## 5.9. Rodaje

Durante la duración del rodaje debe siempre haber una dotación mínima de personal en sala de máquinas, que realizarán rondas continuas por el motor y sus servicios auxiliares con el propósito de detectar, si las hubiera, posibles anomalías (fugas, ruidos anómalos, valores inusuales de temperaturas y presiones, etc.) para poder actuar con la mayor brevedad posible y resolver el problema. Al tratarse de una obra de gran envergadura en la que se manipulan la gran mayoría de los elementos que componen el sistema, es bastante normal que surjan problemas derivados principalmente del factor humano, estos se van solucionando a medida que el rodaje lo permita a no ser que su gravedad sea tal que tengamos que realizar una parada inmediata para su corrección.

En nuestro caso formamos un equipo de 4 profesionales mecánicos que a su vez se dividen por parejas para no pasar periodos ininterrumpidos superiores a 2 horas en el interior de la sala de máquinas. Estos, realizaron un turno continuo de 12 horas organizando los descansos y el tiempo de comidas de tal forma que en ningún momento queden sin supervisión las máquinas en rodaje. Otro equipo de idéntica configuración reemplazó al anterior cuando termino su jornada. Los demás departamentos y empresas involucradas hicieron lo propio con su personal.

### Plan de rodaje

COMPROBAR QUE ANTES DEL ARRANQUE Y DURANTE EL PERIODO DE RODAJE EL MODO DE RODAJE DE ENGRASE DE CAMISAS ESTE ACTIVADO.

Antes de arrancar el motor virar durante 10 minutos con la bomba de pre lubricación de aceite en marcha.

Pasos a seguir:

1. Arranque con regulador mecánico en control local.
2. Arranque hasta ralentí (250rpm) y mantener durante aproximadamente 10 minutos. Parada (disparando el motor haciendo saltar el detector de niebla en el cárter). Abrimos e inspeccionamos el cárter rápidamente (splash oil, temperaturas cojinetes y camisas).
3. Arranque del motor a 250 rpm.
4. Subir a 300 rpm en 10 minutos aproximadamente.
5. Subir a 350 rpm en 10 minutos aproximadamente.
6. Subir a 400 rpm en 10 minutos aproximadamente.
7. Subir a 450 rpm en 10 minutos aproximadamente.

8. Subir a 500 rpm en 10 minutos aproximadamente y mantener otros 10 minutos.
9. Disparar el motor por simulación de baja presión de aceite.
10. Volver a arrancar el motor y realizar prueba de disparo real por sobrevelocidad actuando sobre el regulador mecánico.
11. Tras el disparo, paso a regulador electrónico y control remoto.
12. Arranque hasta alcanzar las rpm nominales (500 rpm) Excitación y acople del generador y comenzar el rodaje con carga dentro de los márgenes que indica la gráfica inferior.

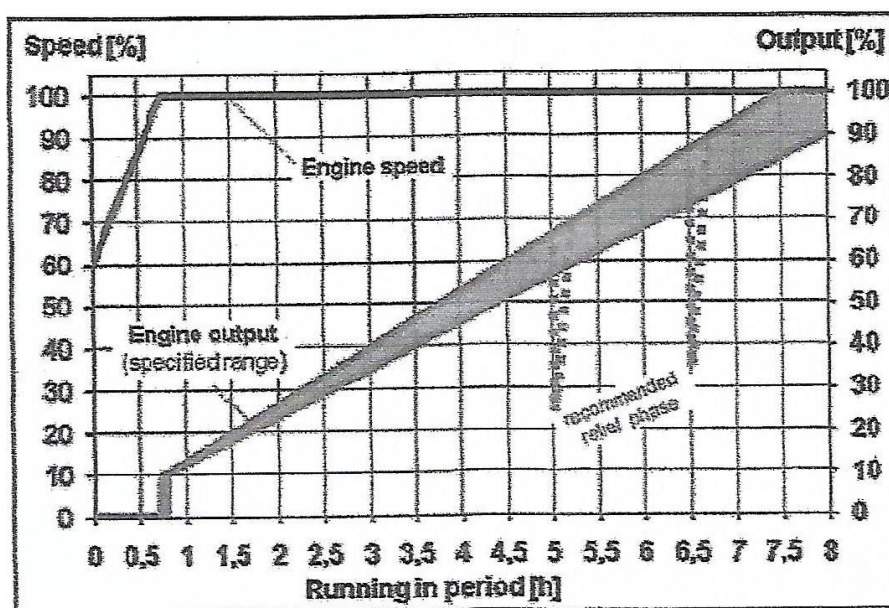


Ilustración 39. Gráfica procedimiento subida de carga

13. Una vez terminado el periodo de rodaje **DETENER** el modo rodaje del engrase de cilindros.

Después de concluir las pruebas de estanqueidad y funcionamiento a última hora de la jornada del día 17, dejamos el agua de cilindros precalentando al igual que también dejamos en funcionamiento la separadora de aceite de cárter con la finalidad de que a primera hora de la jornada siguiente tengamos condiciones de temperatura óptimas y poder iniciar el proceso de rodaje. En la mañana del día 18, después de poner en condiciones de "listo arranque" el grupo sobre las 8:00 damos un soplado a la máquina para, acto seguido, cerrar las purgas de cilindros y dar el primer arranque. Todo avanza sin novedad según el plan de rodaje.



**Ilustración 40. Man 48/60, línea B vista de popa a proa desde el piso de culatas**

Aproximadamente a las 8:15 procedemos a disparar el motor simulando que el detector de niebla en el cárter da valores de alarma de disparo. Para ello, el personal del departamento de instrumentación utiliza un aparato que genera mediante la nebulización de un líquido una niebla espesa que es canalizada por una tubería plástica de pequeño diámetro a través de los conductos que vienen desde las tapas de cárter hasta el detector. La parada se produce de manera instantánea en cuanto la niebla se introduce en el aparato de medida, el nivel de seguridad es correcto. Se realiza inspección ocular interna desde el cárter del tren alternativo buscando anomalías de engrase o presencia de agua y se recogen los datos de temperatura de cojinetes (Anexo III). Se continúa según el plan sin imprevistos.

Sobre las 9:30, el grupo lleva unos 10 minutos a sus rpm nominales de trabajo y nos disponemos a comprobar el disparo por baja presión de aceite. De nuevo contamos con la ayuda del personal de instrumentación que manipulando la señal de presión generan una falsa alarma de disparo, la seguridad del grupo reacciona y el motor entra en parada rápidamente. En cuanto podemos resetear y poner el grupo de nuevo en condiciones de arranque procedemos con la siguiente prueba, el disparo por sobrevelocidad, a nivel mecánico el de mayor importancia. Un motor que cause avería por no disponer de ese nivel de seguridad tendrá como consecuencia, con mucha probabilidad, averías múltiples de gravedad extrema y genera una estancia muy insegura para el personal que se pudiera encontrar trabajando en ese momento en las inmediaciones. El motor arranca y rápidamente es llevado a 500 rpm, una vez está estabilizado y actuando sobre el regulador

vamos dando orden de aumentar las rpm hasta que se produce el disparo, queda registrado el valor de 530 rpm en el momento de la parada.

Son las 10:30, realizamos descansos organizados para comer. El personal de sala ha localizado dos pequeñas fugas de combustible en las tuberías de entrada y salida de bombas de inyección, se aprovecha para corregirlas. El rodaje arranca de nuevo a las 11:30.

Con el regulador de velocidad en modo electrónico y el control pasado a remoto, el grupo vuelve a arrancar con la intención de no volver a parar más hasta fin de rodaje y entrega a producción. Se estabiliza rápidamente en sus rpm nominales y desde la sala de control se procede a acoplar el grupo a la red y ponerlo en carga a 2 Mw, la carga se irá incrementando a razón de 2 Mw por hora hasta fin de rodaje, se define como hora de inicio de esta secuencia final las 12:00.

Aunque no se contempla en el plan de rodaje, cuando el grupo llegó a 8 Mw se realiza el cambio de combustible a fuel oil. El motor está configurado de tal forma que en su condición normal de trabajo entre 12 y 18 Mw, en función de la necesidad de la red, el sistema de combustible suministra fuel oil en las condiciones de temperatura y viscosidad adecuadas. El cambio de combustible se realiza sin ningún contratiempo. Son las 15:00 horas.

En una de las rondas de inspección por los servicios auxiliares se detecta una fuga considerable de fuel a través de una de las tapas de cierre del calentador final de combustible, se actúa rápidamente poniendo en servicio el calentador que se encuentra en reposo para poder continuar con el proceso y se prepara un equipo de trabajo para solucionar el problema, los servicios duplicados te dan margen de maniobra en estas situaciones. El rodaje sigue su curso llegando a los 16 Mw a las 19:00 horas. Se realiza el cambio de turno del personal, la guardia entrante hace la primera ronda y se preparan para realizar un ajuste fino de las temperaturas de escape por cilindros buscando igualarlas al máximo posible para equilibrar el grupo. Para este ajuste se actúa directamente sobre el sistema de regulación de las cremalleras de las bombas de canto oblicuo variando la cantidad combustible.

Sobre las 20:00 horas se realiza la última subida de carga llegando a los 18 Mw y se prepara el equipo para recoger lecturas de presiones máximas una vez que el grupo este estable y sin oscilaciones (Anexo III). Alrededor de las 21:00 horas se da por finalizado el rodaje, el grupo pasa a estar a disponible y a disposición del equipo de producción. El alcance de la obra ha llegado a su fin, se han cumplido los plazos y los resultados son muy positivos, el equipo se merece un buen descanso.

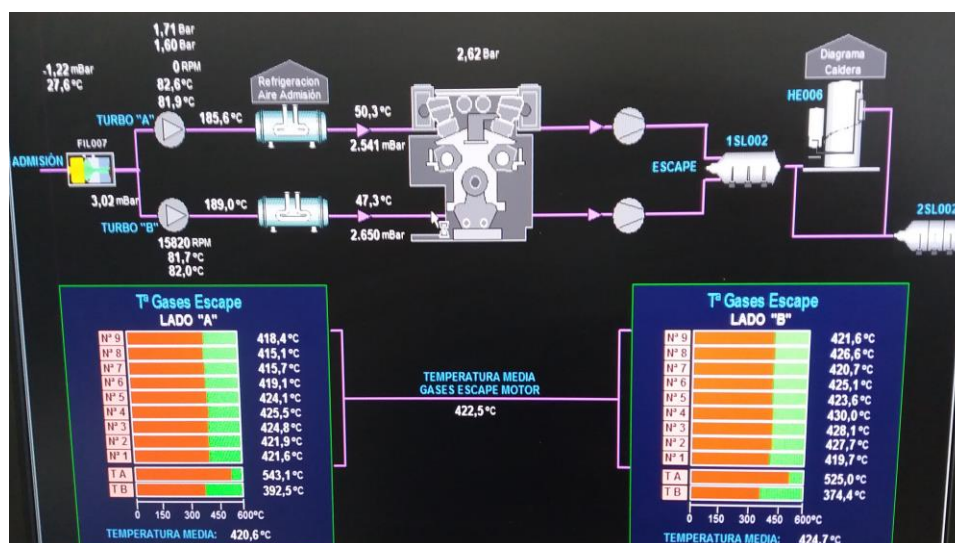


Ilustración 41. Temperaturas de gases de escape en rodaje a 18 Mw

## 6. Resultados

En general el resultado final del mantenimiento preventivo fue un éxito tanto a nivel económico como personal. El alcance total de la obra se concluyó en 18 jornadas adelantándose 7 días a la fecha límite pactada en el pliego de condiciones del contrato, esto unido al ahorro material por la aplicación de procedimientos de mantenimiento propios de la instalación para estos motores hizo que del presupuesto inicial concedido solo se consumiera el 70%.

En cuanto a los recursos humanos, no hubo que lamentar incidentes ni accidentes. Los equipos trabajaron según las previsiones y no hubo que lamentar ninguna interrupción de ningún trabajo debido a retrasos ni a falta de material.

En lo que respecta a la parte técnica:

- Bajaron los niveles de impurezas sólidas y agua en los análisis de aceite.
- Se eliminaron las impurezas y recuperaron las propiedades químicas en los análisis de agua de refrigeración.
- Mejoraron los rendimientos de los calentadores y enfriadores de aguas, aceite, combustible y aire.
- Presiones diferenciales muy bajas en todos los equipos de filtrado.
- Temperaturas de gases de escape estables y emparejadas a igualdad de posición de levas de inyección e índice de cremalleras.
- Presiones y temperaturas de trabajo de los circuitos auxiliares estables y dentro rango.
- Fugas cero.

- Bajaron los niveles de vibraciones tanto del motor como del alternador.
- Bajaron las temperaturas de cojinetes de las turbosoplantes de gases de escape.
- Presiones máximas obtenidas a máxima carga muy igualadas entre cilindros.
- Los niveles de emisiones a la atmosfera ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  y  $\text{CO}_2$ ) mejoraron considerablemente.

## 7. Conclusiones

Los avances tecnológicos en materia de mantenimientos predictivos unidos a la experiencia y colaboración de los distintos profesionales desde sala de máquinas hasta oficina técnica, generan a lo largo de la vida útil de una máquina una cantidad de información que bien organizada nos da herramientas importantísimas a la hora de gestionarla. Así cada máquina va adquiriendo personalidad, a través del trabajo que no se ve, que pasa más desapercibido, una base de datos de este tipo bien gestionada ahorra muchos costes reduciendo tiempos y gastos de material.

Establecer planes de mantenimiento propios que superen los tiempos establecidos en las recomendaciones del fabricante no es tarea fácil, se asume un riesgo sobre bienes materiales que suman cifras económicas muy altas, cosa que puede llegar a comprometer mucho la toma de decisiones al respecto. Debe hacerse mediante un proceso largo basado en muchas horas de observación y comparación para generar unos fundamentos sólidos antes de empezar con las pruebas reales, son procesos que duran años y están siempre en continua revisión.

El trabajo previo de los gestores de mantenimiento para crear unas condiciones propicias y dar formato a un plan de mantenimiento personalizado es fundamental, estas labores normalmente conllevan un gasto de tiempo mucho mayor que la ejecución de la propia actividad de mantenimiento.

La elaboración de procedimientos propios de las distintas actividades es de gran utilidad a la hora de unificar conceptos entre distintas instalaciones, recogiendo las mejores prácticas de cada una para implantarlas de manera general lo que nos lleva a ser más polivalentes y ágiles, y a adoptar conductas laborales más seguras. Al estandarizar también aumentamos la posibilidad de que cualquier equipo pueda llevar a cabo un mismo trabajo en cualquier instalación.

En las actividades derivadas de este tipo de mantenimientos industriales, más personal no significa menos tiempo de ejecución, en muchas ocasiones acarrea retrasos

derivados de momentos de caos por no existir tareas para todos los integrantes del equipo o por espacio vital insuficiente. Los grupos de trabajo deben estar formados por los operarios necesarios, se forman los equipos para los trabajos no se planean los trabajos para los equipos.

Es muy importante conseguir acondicionar zonas comunes cómodas, en las que predomine la igualdad en cuanto a confortabilidad y exista espacio suficiente para todos, puesto que las jornadas de trabajo son muy intensas y esas pequeñas cosas generan sensación de hogar y ayudan a mantener un ambiente cordial. En cuanto a las zonas de trabajo, se deben mantener con un nivel de ergonomía lo más alto posible dentro de las posibilidades de cada actividad, evitara lesiones, dolores articulares y musculares, etc, influirá directamente en el bienestar de los profesionales pero también en los tiempos de ejecución y evitarás muchos reajustes y reprogramaciones.

## 8. Bibliografía

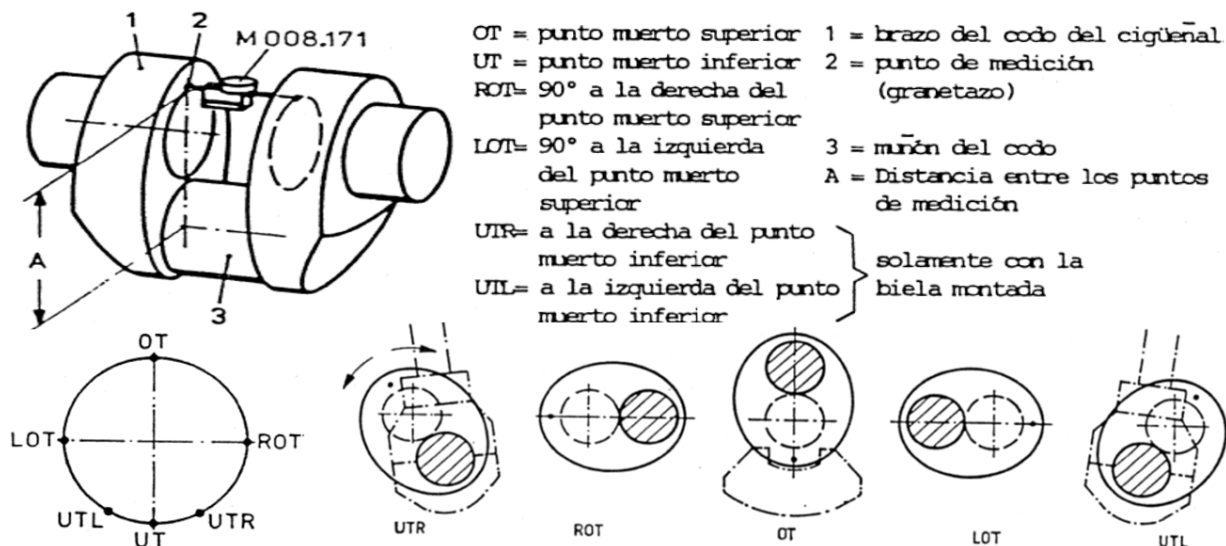
En la elaboración de este documento todos los datos de medidas del motor y de los trabajos de mantenimiento se han recogido de forma manual en campo, interactuando con los distintos profesionales que realizaban la obra y formando parte del equipo de supervisores de la empresa propietaria.

Durante toda la obra se ha utilizado como base documental el manual propio del motor facilitado por la casa MAN B&W DIESEL (*Manual completo motor Man 48/60*) y la *base de datos en soporte digital y en papel elaborada por el personal de mantenimiento mecánico de la instalación a lo largo de la vida de la máquina.*

## 9. Anexos

### 01.- Anexo I. Toma de flexiones

#### Flexiones antes del mantenimiento

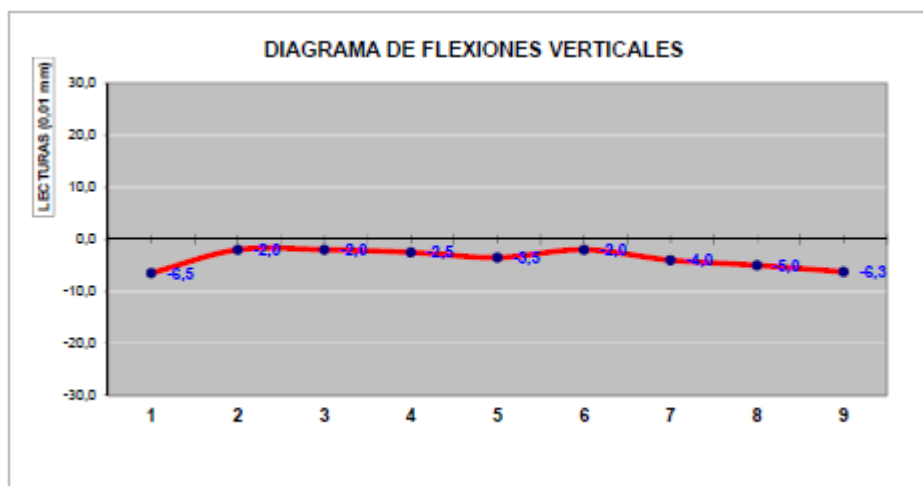


	Cilindro Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9
POSICIONES	UTL	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LOT <sup>1</sup>	-1,5	-1	-1	-1,5	-3	-1,5	-1,5	-2	-3
	OT	-8	-3	-3	-3	-4	-2	-4	-5,5	-7
	ROT <sup>1</sup>	-8	-3	-3	-2	-2,5	-1	-1	-2	-3
	UTR	-3	-2	-2	-1	-1	0	0	-1	-1,5

POSICIONES LOT Y ROT SON TOMADAS A MODO DE REFERENCIA

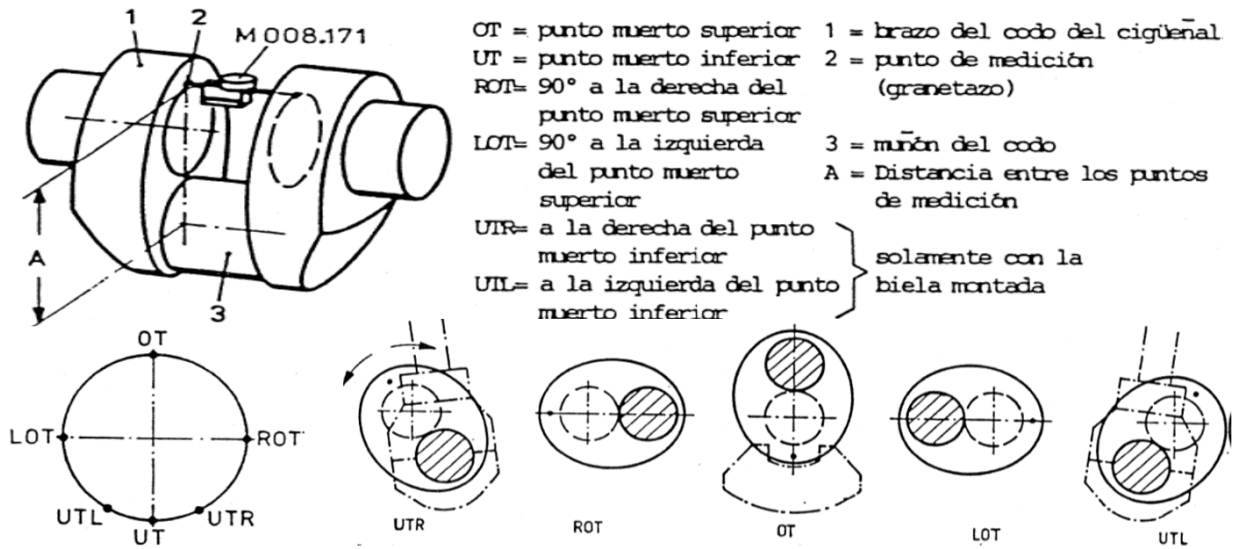
<b>B=1/2(UTL+UTR)</b>	-1,5	-1,0	-1,0	-0,5	-0,5	0,0	0,0	-0,5	-0,8
-----------------------	------	------	------	------	------	-----	-----	------	------

FLEXIONES VERTICALES										
<b>V=OT-B</b>	-6,5	-2,0	-2,0	-2,5	-3,5	-2,0	-4,0	-5,0	-6,3	





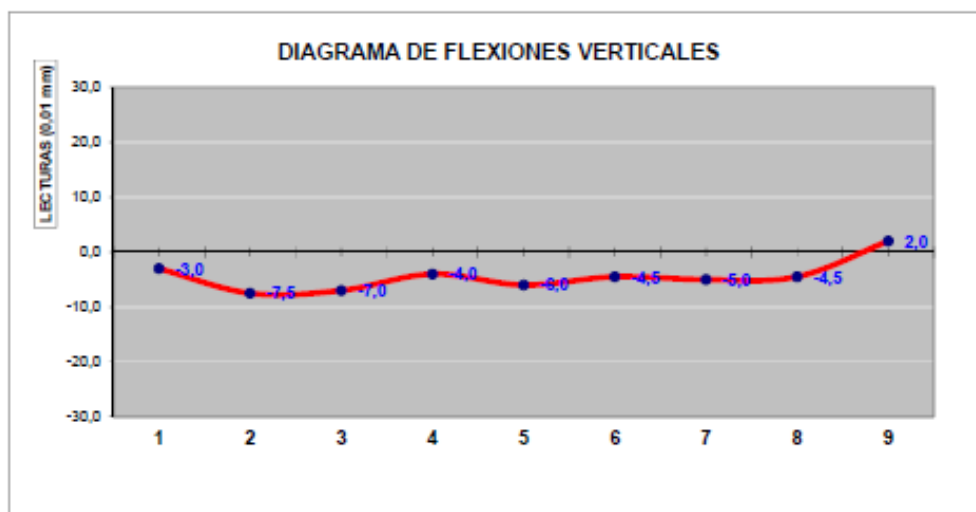
### Flexiones después del mantenimiento



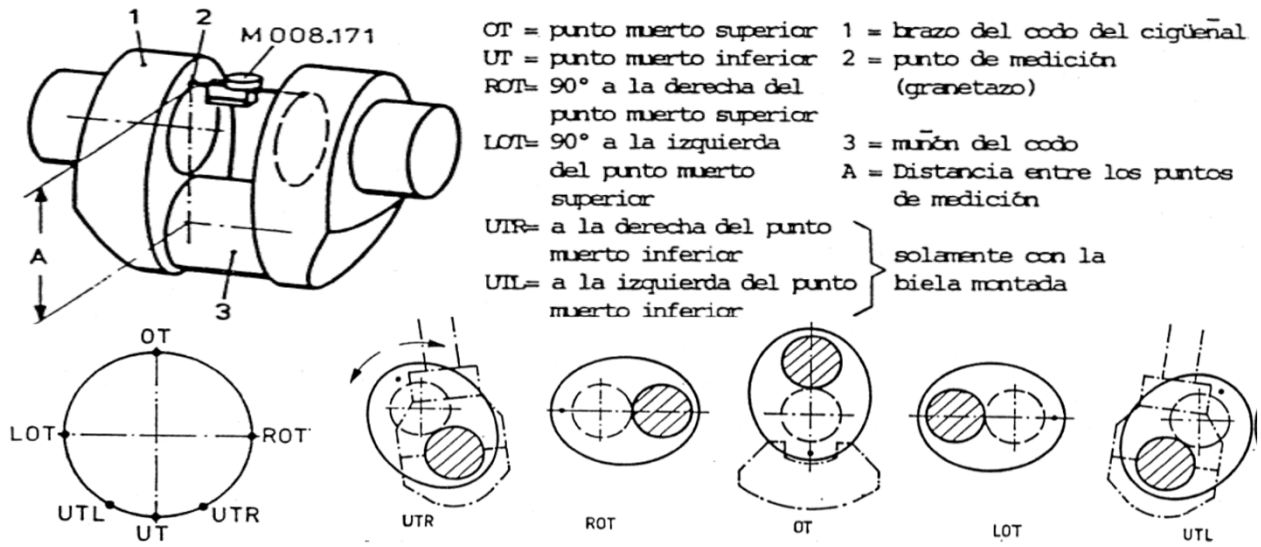
POSICIONES	Cilindro Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	UTL		0	0	0	0	0	0	0	0
LOT <sup>1</sup>		-3	-4	-3	-1,5	-2	-2	-2	-2	1
OT		-2	-7	-7	-4	-6	-5	-5	-5	2
ROT <sup>1</sup>		3	-2	-3	-2	-2	-3	-2	-3	1
UTR		2	1	0	0	0	-1	0	-1	0

POSICIONES LOT Y ROT SON TOMADAS A MODO DE REFERENCIA

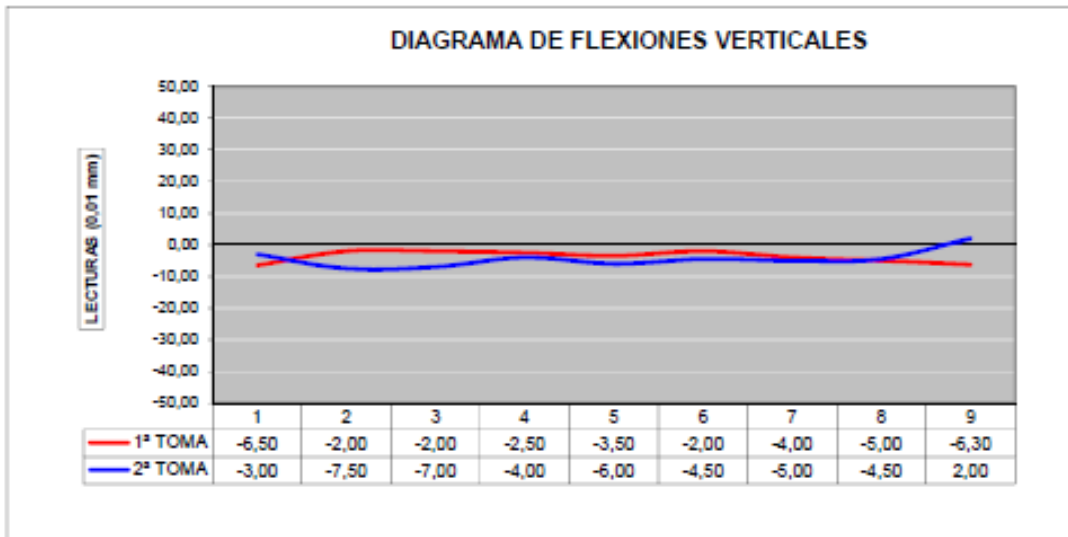
$B=1/2(UTL+UTR)$	1,0	0,5	0,0	0,0	0,0	-0,5	0,0	-0,5	0,0	
FLEXIONES VERTICALES										
$V=OT-B$	-3,0	-7,5	-7,0	-4,0	-6,0	-4,5	-5,0	-4,5	2,0	



### Comparativa de flexiones

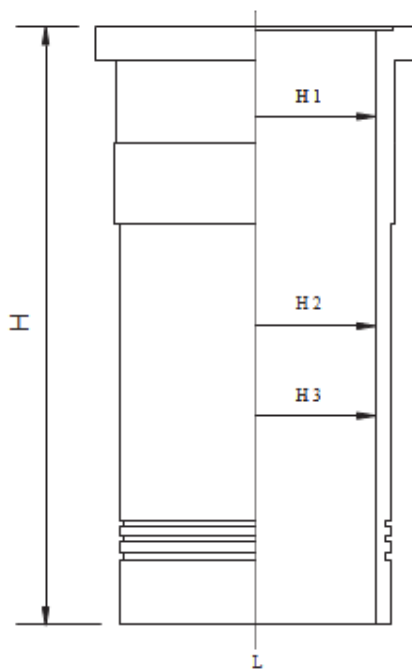


Fecha	Cilindro Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1ª TOMA	-6,50	-2,00	-2,00	-2,50	-3,50	-2,00	-4,00	-5,00	-6,30
	2ª TOMA	-3,00	-7,50	-7,00	-4,00	-6,00	-4,50	-5,00	-4,50	2,00



## 02.- Anexo II. Ajustes y tolerancias

### Calibrado de camisas de cilindro



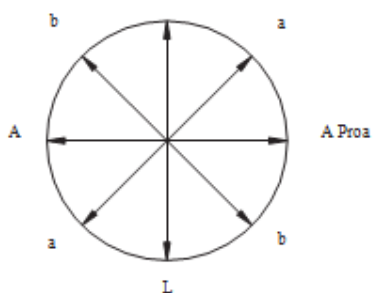
Diámetro nominal (DN) = 480 mm.

Diámetro máximo =  $DN + 1,44$  mm.

Ovalidad =  $L - A$ .

Ovalidad máxima = 0,72 mm.

Calibración = Patrón + sobre medidas en milímetros.



**Lado A antes del bruído**

CILINDRO	1A		2A		3A		4A		5A		6A		7A		8A		9A	
CAMISA Nº	2240907		22410036		2240165		2240214		9240591		2240732		2240443		2240581		2241027	
ALTURA	L	A	L	A	L	A	L	A	L	A	L	A	L	A	L	A	L	A
H1	0,16	0,16	0,18	0,18	0,15	0,14	0,22	0,22	0,07	0,08	0,14	0,14	0,10	0,10	0,18	0,17	0,17	0,16
H2	0,11	0,08	0,10	0,10	0,06	0,05	0,10	0,11	0,07	0,07	0,09	0,09	0,09	0,07	0,10	0,09	0,10	0,10
H3	0,09	0,07	0,08	0,07	0,06	0,05	0,10	0,09	0,07	0,07	0,09	0,09	0,07	0,06	0,08	0,10	0,10	0,09

**Lado A después del bruído**

CILINDRO	1A		2A		3A		4A		5A		6A		7A		8A		9A	
CAMISA Nº	2240907		2241036		2240165		2240214		9240591		2240732		2240443		2240581		2241027	
ALTURA	L	A	L	A	L	A	L	A	L	A	L	A	L	A	L	A	L	A
H1	0,17	0,17	0,19	0,19	0,16	0,15	0,23	0,23	0,09	0,09	0,15	0,15	0,11	0,11	0,19	0,19	0,17	0,17
H2	0,11	0,10	0,11	0,11	0,08	0,08	0,10	0,11	0,08	0,08	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11
H3	0,10	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	0,10	0,10	0,07	0,07	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10

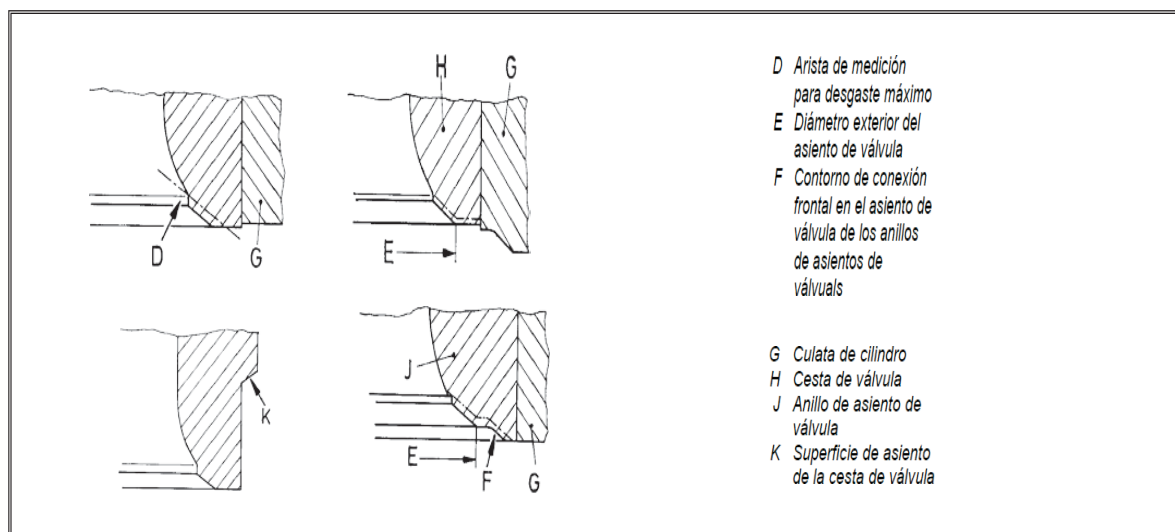
**Lado B antes del bruñido**

CILINDRO	1B		2B		3B		4B		5B		6B		7B		8B		9B	
CAMISA Nº	2241010		2240960		2240440		2240711		2240092		2240920		2241132		2240697		2240717	
ALTURA	L	A	L	A	L	A	L	A	L	A	L	A	L	A	L	A	L	A
H1	0,11	0,11	0,12	0,10	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,08	0,09	0,09	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12	0,10
H2	0,10	0,09	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,07	0,07	0,08	0,08	0,10	0,11	0,10	0,08	0,09	0,14
H3	0,06	0,08	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,07	0,06	0,08	0,08	0,10	0,10	0,08	0,07	0,07	0,06

**Lado B después del bruñido**

CILINDRO	1B		2B		3B		4B		5B		6B		7B		8B		9B	
CAMISA Nº	2241010		2240960		2240440		2240711		2240092		2240920		2241132		2240697		2240717	
ALTURA	L	A	L	A	L	A	L	A	L	A	L	A	L	A	L	A	L	A
H1	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
H2	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,09	0,09	0,11	0,11	0,10	0,10	0,12	0,15
H3	0,07	0,08	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,07	0,06	0,08	0,08	0,10	0,10	0,08	0,08	0,07	0,07

## Control de canastillas de escape



## Línea A

Nº DE CILINDRO		COTA "E"	ANCHO DE ASIENTO	Nº DE SERIE
1A	LOA	160,00	9,70	S 4538
	LA	160,00	9,50	S6522
2A	LOA	160,00	9,60	1135136
	LA	160,00	9,40	S 3827 8206
3A	LOA	160,00	9,30	1135136 30/02 0282
	LA	160,00	9,60	1135136 30/02 0282
4A	LOA	160,00	9,40	14443 8206
	LA	160,00	9,50	(Nueva) S 6388
5A	LOA	160,00	9,60	S6366
	LA	160,00	9,50	14035 8206
6A	LOA	160,00	9,40	13135 160102
	LA	160,00	9,60	S 6502 8206
7A	LOA	160,00	9,40	S 2606 8206
	LA	160,00	9,50	S 3995 8206
8A	LOA	160,00	9,60	S 3943 8206
	LA	160,00	9,70	S 4575 8206
9A	LOA	160,00	9,80	S 3860 8206
	LA	160,00	9,60	S 6654 8206
LOA=Lado opuesto acoplamiento LA= Lado acoplamiento				

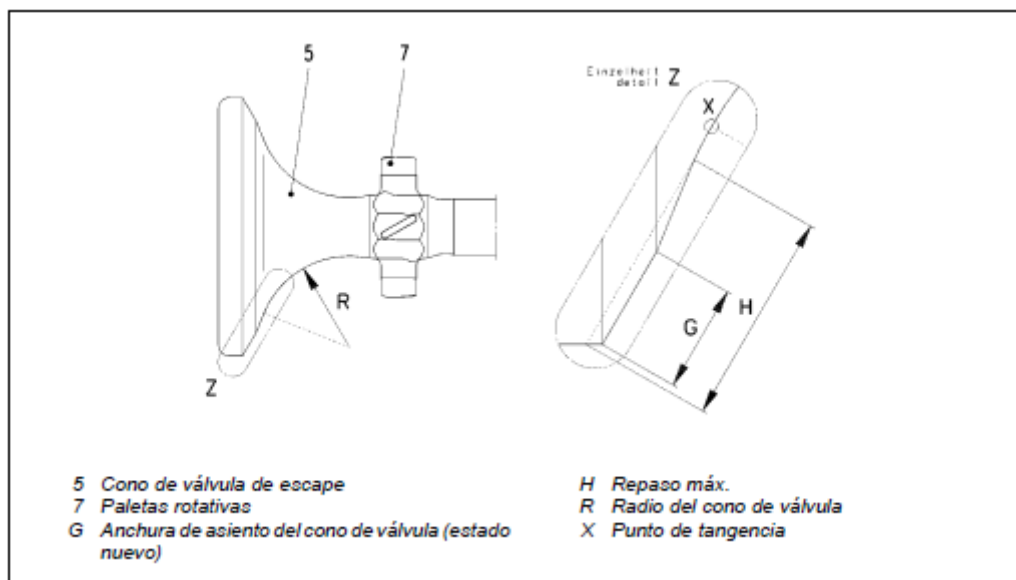
**Línea B**

Nº DE CILINDRO		COTA "E"	ANCHO DE ASIENTO	Nº DE SERIE
1B	LOA	160,00	9,40	1135136 160102
	LA	160,00	9,50	13149 160102
2B	LOA	160,00	9,60	13148 160102
	LA	160,00	9,40	(Nueva) 13190 8206
3B	LOA	160,00	9,30	S 2832 8206
	LA	160,00	9,40	S 6642 8206
4B	LOA	160,00	9,50	S 3864 8206
	LA	160,00	9,30	S 2604 8206
5B	LOA	160,00	9,60	S 2843 8206
	LA	160,00	9,50	13137 270202
6B	LOA	160,00	9,50	S 2855 8206
	LA	160,00	9,40	S 3928 8206
7B	LOA	160,00	9,30	13140 160102
	LA	160,00	9,40	S 6640 8206
8B	LOA	160,00	9,50	S 6499 8206
	LA	160,00	9,50	(Nueva) S 2931 8206
9B	LOA	160,00	9,60	S 3993
	LA	160,00	9,50	S 6649
LOA=Lado opuesto acoplamiento LA= Lado acoplamiento				

## Conos de válvula

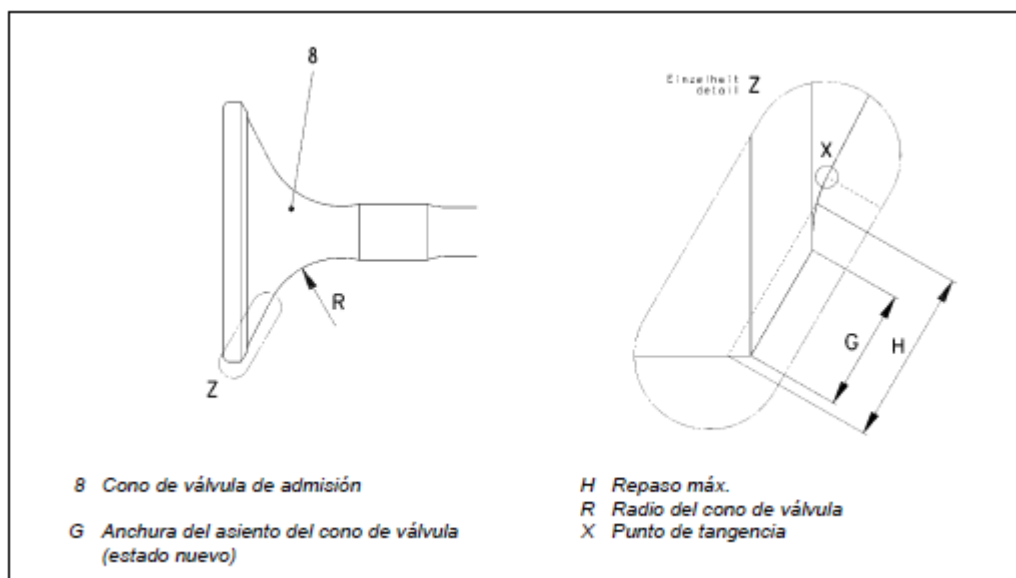
Válvula de escape con paletas fijas y radio de conexión.

“G” nuevo: 16,5 mm / “H” máximo: 25,80 mm.



Válvula de admisión con blindaje y punto atrás.

“G” nuevo: 11,5 mm / “H” máximo: 16 mm.





## Línea A

Nº DE CILINDRO		ADMISION		ESCAPE	
		COTA "H"	Nº DE SERIE	COTA "H"	Nº DE SERIE
1A	LOA	11,60		17,10	
	LA	11,40		16,90	
2A	LOA	11,30		16,50	
	LA	10,80		16,60	
3A	LOA	11,50		16,70	
	LA	11,30		16,90	
4A	LOA	10,80		16,00	
	LA	11,50		16,80	(Nueva)
5A	LOA	11,00		16,00	
	LA	11,60		16,50	
6A	LOA	11,50		16,60	
	LA	11,60		16,70	
7A	LOA	11,40		16,80	
	LA	11,30		16,80	
8A	LOA	11,20		16,70	
	LA	11,10		16,70	
9A	LOA	11,20		16,40	
	LA	11,40		16,50	

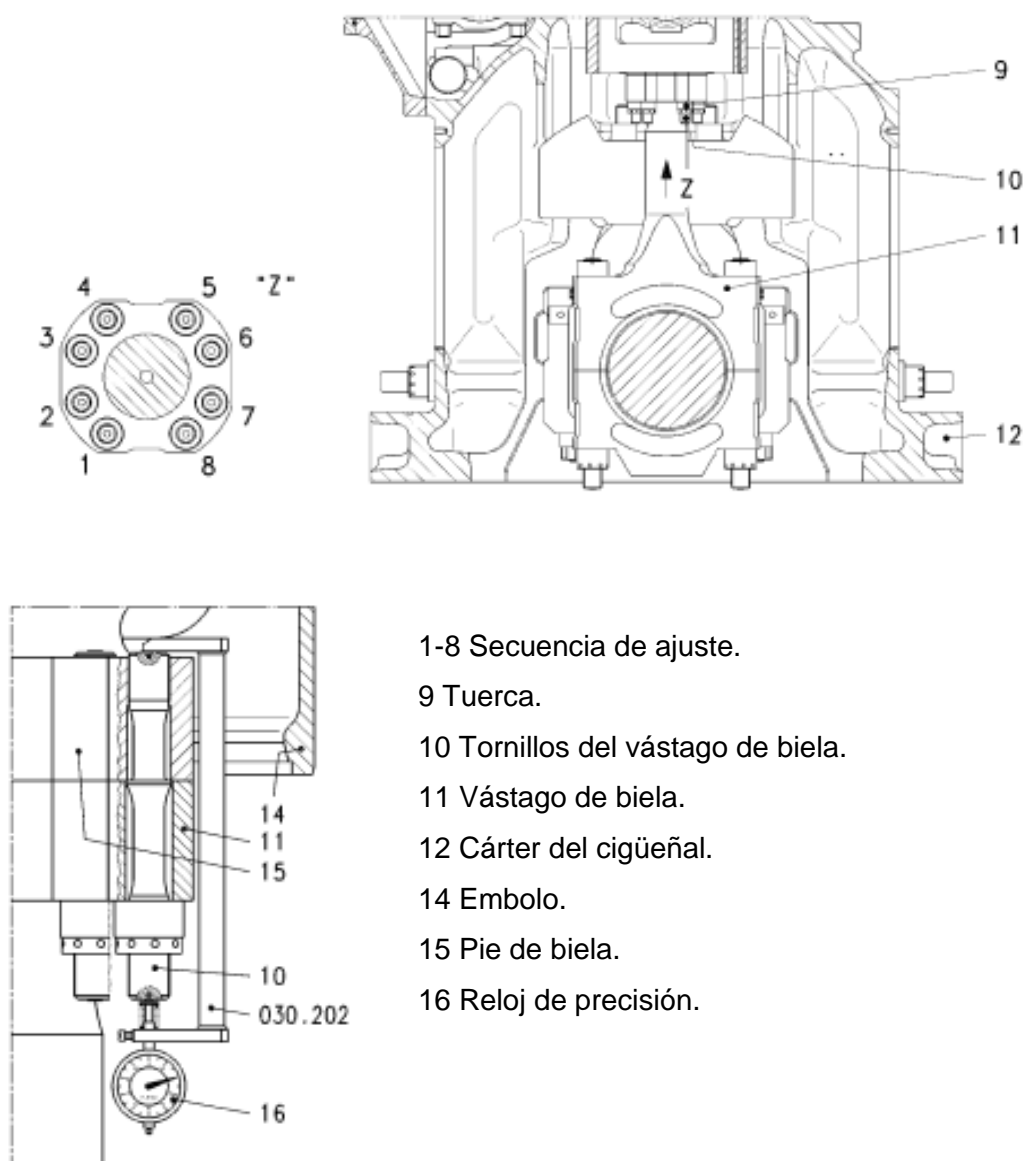
LOA=Lado opuesto acoplamiento LA= Lado acoplamiento

## Línea B

Nº DE CILINDRO		ADMISION		ESCAPE	
		COTA "H"	Nº DE SERIE	COTA "H"	Nº DE SERIE
1B	LOA	11,50		16,40	
	LA	11,00		17,00	
2B	LOA	11,20		16,60	
	LA	11,10		16,70	(Nueva)
3B	LOA	11,10		16,70	
	LA	11,00		16,90	
4B	LOA	11,10		16,70	
	LA	11,20		16,80	
5B	LOA	11,70		16,50	
	LA	11,30		16,50	
6B	LOA	11,50		16,80	
	LA	11,30		17,00	
7B	LOA	11,40		16,80	
	LA	11,70		17,00	
8B	LOA	11,20		16,80	
	LA	11,20		16,00	(Nueva)
9B	LOA	11,00		16,40	
	LA	11,10		16,50	

LOA=Lado opuesto acoplamiento LA= Lado acoplamiento

## Estiramiento de pernos del vástago de la biela



**Línea A**

CIL. Nº	1A		2A		3A		4A		5A		6A		7A		8A		9A		
	L	LT	L	LT	L	LT	L	LT	L	LT	L	LT	L	LT	L	LT	L	LT	
1	-1	51	0	50	-1	51	-6	52	0	51	-4	53	-1	51	0	50	-1	50	
2	-1	53	0	49	-1	51	-7	51	-3	53	0	50	-2	51	0	49	0	49	
3	0	51	-2	49	-2	49	-6	53	-1	50	0	51	-3	53	-3	52	-1	51	
4	0	50	-1	51	0	50	-4	50	0	50	-3	53	-2	52	-2	53	-3	52	
5	0	51	-2	50	0	50	-5	52	-2	49	-2	50	-1	52	-2	51	0	50	
6	0	51	-4	51	-1	49	-4	51	0	48	-2	49	-3	51	-5	53	0	50	
7	0	50	-1	49	-2	49	-4	51	-2	49	-1	48	-2	51	-1	50	-1	50	
8	0	49	0	51	0	49	-4	50	0	49	0	47	-2	51	-3	51	-1	50	
CIL. Nº	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A										
Δ1	50	50	50	46	51	49	50	50	49										
Δ2	52	49	50	44	50	50	49	49	49										
Δ3	51	47	47	47	49	51	50	49	50										
Δ4	50	50	50	46	50	50	50	51	49										
Δ5	51	48	50	47	47	48	51	49	50										
Δ6	51	47	48	47	48	47	48	48	50										
Δ7	50	48	47	47	47	47	49	49	49										
Δ8	49	51	49	46	49	47	49	48	49										

L: Longitud permanente de los tornillos del vástago de la biela (sin tensar)  $\leq 277,55$  mm.

LT: Longitud de los tornillos del vástago de labiela con presión (tensados).

ΔL: Diferencia de dilatación entre los tornillos del vástago sin tensar y con presión ( $\Delta L = 0,40 \dots 0,55$  mm).

## Línea B

CIL. Nº	1B		2B		3B		4B		5B		6B		7B		8B		9B	
	L	LT	L	LT	L	LT	L	LT	L	LT	L	LT	L	LT	L	LT	L	LT
1	49	-4	50	-1	48	-3	51	-6	49	-3	50	-1	52	-2	52	-1	52	-1
2	51	-5	48	-1	48	-3	50	-4	50	-3	52	-2	53	-4	52	-1	53	0
3	48	-1	47	-1	48	-3	52	-5	52	-2	52	-3	53	-4	51	-1	52	-1
4		-5	49	-2	50	-1	50	-4	50	-1	53	-4	52	0	50	-1	52	-2
5	49	-4	50	-1	48	-2	52	-6	50	-1	50	-2	53	0	52	-2	53	0
6	48	-2	48	-2	48	-2	51	-5	52	-2	50	-1	51	0	50	0	50	0
7		-2	48	-2	47	-1	50	-6	52	-5	49	-1	51	0	51	0	49	-1
8	48	-1	49	-2	48	-1	50	-5	51	-1	50	-1	52	0	51	0	52	-1
CIL. Nº	1B		2B		3B		4B		5B		6B		7B		8B		9B	
$\Delta 1$	45		49		45		45		46		49		50		51		51	
$\Delta 2$	46		47		45		46		47		50		49		51		53	
$\Delta 3$	47		46		45		47		50		49		49		50		51	
$\Delta 4$	-5		47		49		46		49		49		52		49		50	
$\Delta 5$	45		49		46		46		49		48		53		50		53	
$\Delta 6$	46		46		46		46		50		49		51		50		50	
$\Delta 7$	-2		46		46		44		47		48		51		51		48	
$\Delta 8$	47		47		47		45		50		49		52		51		51	

L: Longitud permanente de los tornillos del vástago de la biela (sin tensar)  $\leq 277,55$  mm.

LT: Longitud de los tornillos del vástago de labiela con presión (tensados).

$\Delta L$ : Diferencia de dilatación entre los tornillos del vástago sin tensar y con presión ( $\Delta L = 0,40 \dots 0,55$  mm).

### Huelgos aros de pistón

	A	8 +0,230/+0,200	--	--
	B	--	0,213 ... 0,265	0,36
	C	8 -0,013/-0,035	--	--
	D	8 +0,200/+0,170	--	--
	E	--	0,183 ... 0,235	0,32
	F	12 +0,060/+0,040	--	--
	G	--	0,056 ... 0,100	0,12
	H	12 -0,016/-0,040	--	--
	J*	--	0,800 ... 1,200	--
	J**	--	0,800 ... 1,350	--

\*J: Juego de los segmentos 1,2 y 3.

\*\*J: Juego del segmento 4.

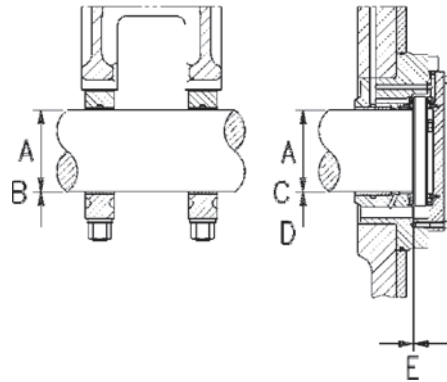
### Línea A

PISTÓN Nº	1A		2A		3A		4A		5A		6A		7A		8A		9A		
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
ARO Nº 1	0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		
ARO Nº2	0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		
ARO Nº3	0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		
ARO Nº4	0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		
ARO Nº5																			

## Línea B

PISTÓN Nº	1B		2B		3B		4B		5B		6B		7B		8B		9B	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
ARO Nº 1	0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20	
ARO Nº2	0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15	
ARO Nº3	0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15		0,15	
ARO Nº4	0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05		0,05	
ARO Nº5																		

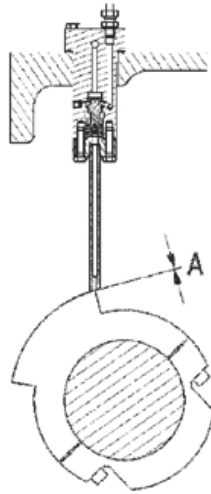
### Huelgo cojinetes árbol de levas



PUNTO MEDICIÓN	MEDIDA NOMINAL	JUEGO FABRICACIÓN	JUEGO MÁXIMO
A	200 -0,029	----	----
B	----	0,178-0,266	----
C	----	0,183-0,281	----
D	$200 \begin{matrix} +0,252 \\ +0,183 \end{matrix}$	----	----
E	----	0,200-0,450	----

COJINETE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
“LADO A”	0,25	0,20	0,25	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,25	0,20	0,25	0,25	0,20	0,25
“LADO B”	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,20	0,25
AXIAL “E”	0,35																			

## Huelgo piloto de válvula de arranque con falsa leva

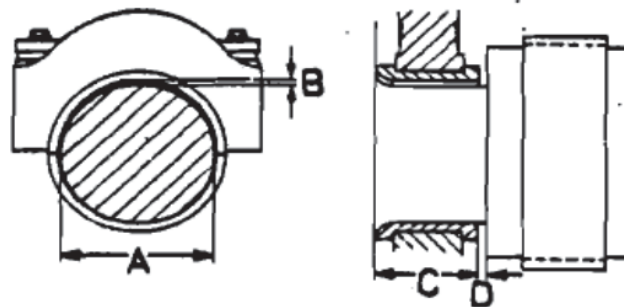


PUNTO MEDICIÓN	MEDIDA NOMINAL	JUEGO FABRICACIÓN	JUEGO MÁXIMO
A	----	0,30-0,40	----

CILINDRO Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9
"A"	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30



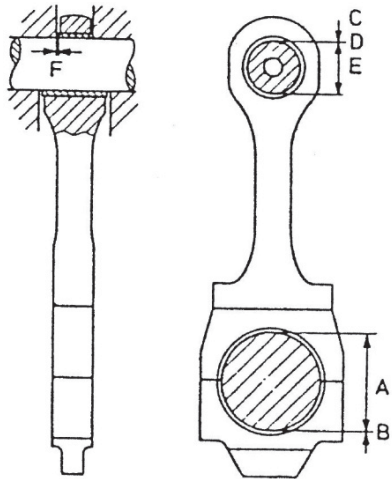
### Huelgos cojinetes de bancada



PUNTO MEDICIÓN	MEDIDA NOMINAL	JUEGO FABRICACIÓN	JUEGO MÁXIMO
A		----	----
B	----	0,52-0,66	
C		----	----
D	----	0,50-0,76	0,95

COJINETE Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
“A”	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
“B”	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
“D”	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AXIAL “C”	-									

**Huelgos cojinetes cabeza y pie de biela**



PUNTO MEDICIÓN	MEDIDA NOMINAL	JUEGO FABRICACIÓN	JUEGO MÁXIMO
A	415-0,040	----	----
B	----	0,330-0,450	SEGÚN 000.11
C	+ 0,330 220 + 0,260	----	----
D	----	0,260-0,350	0,46
E	220-0,025	----	----

**Línea A**

CILINDRO N°	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A
"A"									
"B"	0,45	0,40	0,45	0,40	0,45	0,45	0,45	0,45	0,40
"C"									
"D"	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,30	0,25	0,25
"E"									

**Línea B**

CILINDRO N°	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B	9B
“A”									
“B”	0,45	0,45	0,45	0,40	0,45	0,45	0,40	0,45	0,40
“C”									
“D”	0,26	0,26	0,25	0,25	0,23	0,25	0,25	0,25	0,25
“E”									

### 03.- Anexo III. Datos de rodaje

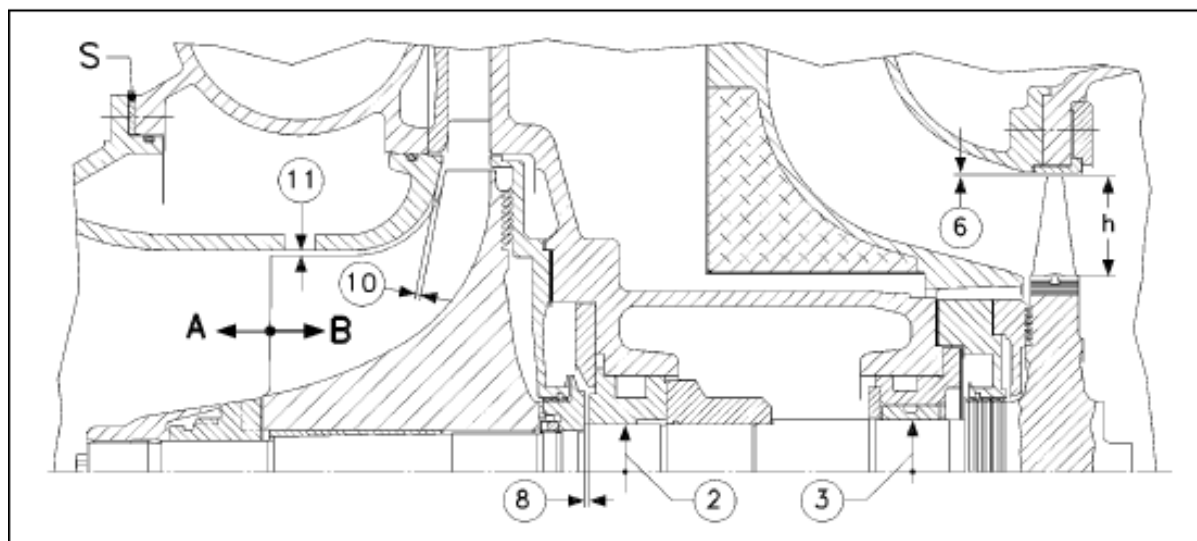
Toma de datos de temperatura de cojinetes mediante pistola de infrarrojos en grados centígrados.

CONDICIÓN	TEMPERATURA 15 MINUTOS TRAS EL PRIMER ARRANQUE																		
COJINETE Nº	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10
BANCADA	50		50		50		50		50		50		50		50		50		50
CABEZAS DE BIELA	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
	50	50	50	50	50	50	50	51	50	50	50	50	50	51	51	51	51	51	

Toma de presiones máximas en kg/cm<sup>2</sup>.

CONDICIÓN	TOMAR PRESIONES A 18 MW																	
CILINDROS	1		2		3		4		5		6		7		8		9	
PRESIONES MÁXIMAS	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
	172	171	171	171	170	166	169	166	164	174	168	165	167	168	167	159	171	165

## 04.- Anexo IV. Tolerancias y huelgos turbosoplantes



Item No.	Designation of parts	(Part No.)		When new		Replace or remachine parts	
				min [mm]	max [mm]	min [mm]	max [mm]
2	Locating bearing Turbine rotor	(517.075) (520.001)	Radial clearance	refer to Volume C2, Work Card 500.06			
3	Plain bearing Turbine rotor	(517.055) (520.001)	Radial clearance	refer to Volume C2, Work Card 500.06			
6	a) Turbine rotor Shroud ring	(520.001) (513.508)	Radial gap at h = 98 mm	0.80	1.01	(0.70) *	1.30
			at h = 93 mm	0.80	1.01	(0.70) *	1.30
			at h = 74 mm	0.70	0.91	(0.60) *	1.20
8	d) Locating bearing Locating ring	(517.075) (520.035)	Axial clearance	0.28	0.37	see Work Card 500.06	
10	b) Compressor wheel c) Insert	(520.044) (540.001)	Axial gap	1.60	1.80	---	2.10
11	a) Compressor wheel Insert	(520.044) (540.001)	Radial gap	1.35	1.45	(1.25) *	1.65

## Huelgos en el turbocompresor de la línea A

### Antes de los trabajos de mantenimiento



### Después de los trabajos de mantenimiento

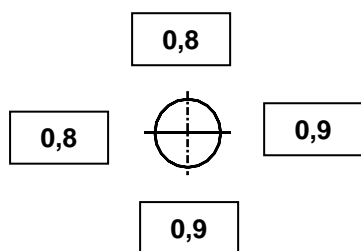


Marca nº	8	10
Antes	0.20	---
Después	0.25	2.0

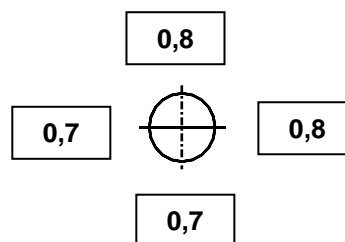
## Huelgos en el turbocompresor de la línea B

### Antes de los trabajos de mantenimiento

Rueda compresor (11)

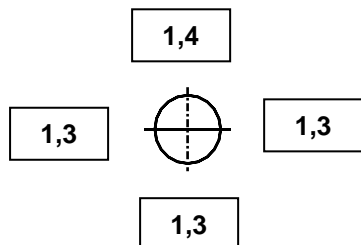


Rueda turbina (6)

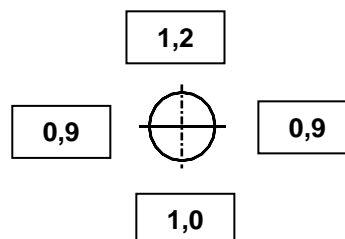


### Después de los trabajos de mantenimiento

Rueda compresor (11)



Rueda turbina (6)



Marca nº	8	10
Antes	0.22	---
Después	0.24	1.8

*Y una vez que la tormenta termine, no  
recordaras como lo lograste, como  
sobreviviste. Ni siquiera estarás seguro  
si la tormenta ha terminado realmente.  
Pero una cosa es segura. Cuando  
salgas de esa tormenta, no serás  
la misma persona que entro en ella.  
De eso se trata esa tormenta.*

*Harukí Murakami*

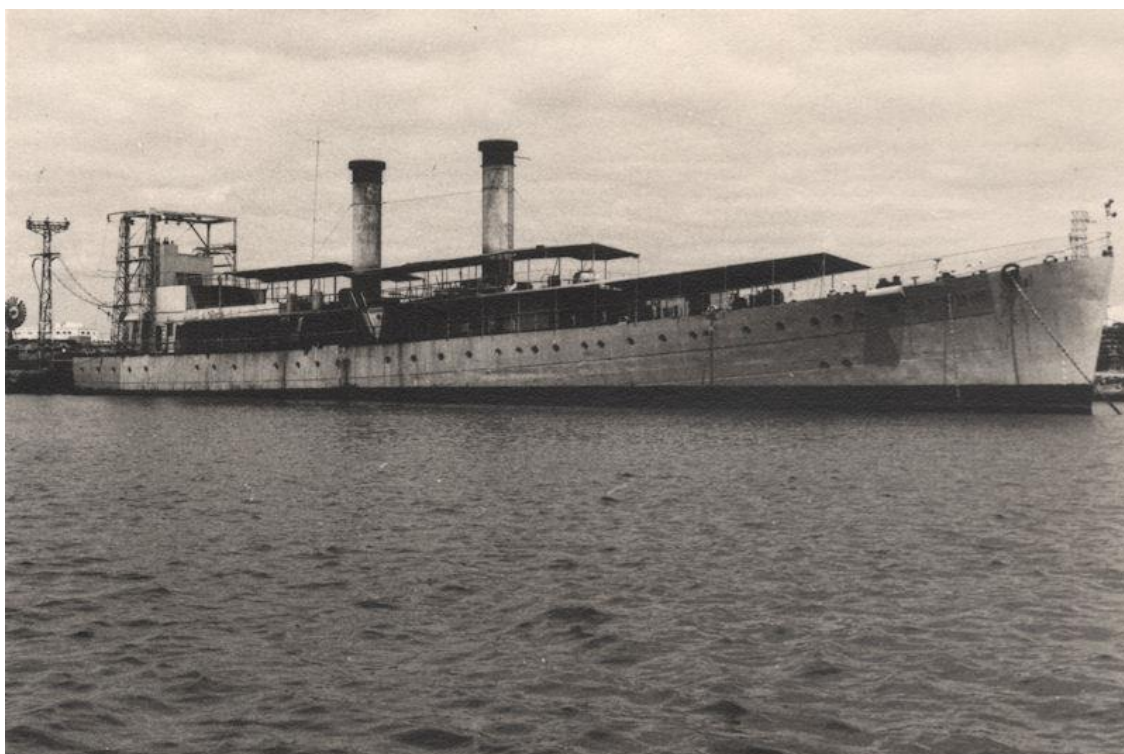


Ilustración 42. Barco “Nuestra Señora de la Luz”, Puerto Naos, Lanzarote (entre 1974 y 1979)



## Permiso de divulgación del Trabajo Final de Grado

El alumno **Jacobo Guillén Duarte**, autor del trabajo final de Grado titulado “**Supervisión y gestión de los trabajos realizados durante la revisión mayor de un motor Man 48/60**”, y tutorizado por el profesor **Juan Toribio Morales Darias**, a través del acto de presentación de este documento de forma oficial para su evaluación, manifiesta que **PERMITE** la divulgación de este trabajo, una vez sea evaluado, y siempre con el consentimiento de su tutor, por parte de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, de la Sección de Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval y de la Universidad de La Laguna, para que pueda ser consultado y referenciado por cualquier persona que así lo estime oportuno en un futuro.

Esta divulgación será realizada siempre que ambos, alumno y tutor del Trabajo Final de Grado, den su aprobación. Esta hoja supone el consentimiento por parte del alumno, mientras que el profesor, si así lo desea, lo hará constar en futuras reuniones, una vez finalizado el proceso de evaluación del mismo.