



Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura
Carrera de Ingeniería Marítima

Trabajo de titulación
Modalidad Proyecto Técnico

Mantenimiento total productivo del motor Yanmar (modelo 4JH-DTYE) del taller de motores de la carrera de Ingeniería Marítima.

Autores:

Mantilla Gallardo Juan Andrés

Sánchez Rivera Bryan Joel

Asesor académico: Ing. Zambrano Vera Folke

Manta – Ecuador

Agosto 2025

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1
		Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante Mantilla Gallardo Juan Andrés, legalmente matriculada en la carrera de Ingeniería Marítima, período académico 2025-1, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es **"Mantenimiento total productivo del motor Yanmar (modelo 4JH-DTYE) del taller de motores de la carrera de Ingeniería Marítima."**

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 13 de agosto 2025.

Lo certifico,

Ing. Folke Zambrano Vera
Docente Tutor
Ingeniería, Industria y Arquitectura

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1 Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante Sánchez Rivera Bryan Joel, legalmente matriculada en la carrera de Ingeniería Marítima, período académico 2025-1, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es **"Mantenimiento total productivo del motor Yanmar (modelo 4JH-DTYE) del taller de motores de la carrera de Ingeniería Marítima."**

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 13 de agosto 2025.

Lo certifico,

Ing. Folke Zambrano Vera
Docente Tutor
Ingeniería, Industria y Arquitectura



Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí
Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura
Ingeniería Marítima

CERTIFICADO DE AUTORÍA

Por medio del presente, certificamos que el trabajo de titulación bajo la modalidad de **Proyecto Técnico**, titulado:

“Mantenimiento Total Productivo del Motor Yanmar (Modelo 4JH-DTYE) del Taller de Motores de la Carrera de Ingeniería Marítima”

ha sido desarrollado en su totalidad por los estudiantes:

Mantilla Gallardo Juan Andrés.

Sánchez Rivera Bryan Joel.

Bajo la **asesoría académica** del **Ing. Folke Zambrano Vera**, cumpliendo con los lineamientos establecidos por la **Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura** de la **Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí**.

Declaramos que el presente trabajo es **original** y producto de nuestra autoría intelectual. Asimismo, manifestamos que el contenido de este respeta los derechos de autor y la normativa vigente sobre propiedad intelectual, por lo que asumimos la responsabilidad ética y legal por la veracidad de la información y los resultados presentados.

En la ciudad de Manta, al día 04 del mes de septiembre del año 2025.

Juan Mantilla Gallardo.

Autor.

Bryan Sánchez Rivera.

Autor.

Ing. Folke Zambrano Vera.

Tutor

DEDICATORIA

A mi papá Ing. Juan Bosco Mantilla, allá arriba en el cielo. Esta tesis es un tributo a tu influencia y apoyo. Tu amor y consejos han sido fundamentales en mi vida. Cada palabra la atesoro en mi memoria. Mi éxito académico es un reflejo de tu amor y guía, este logro es tuyo papá.

A mi mamá Lic. Germania Gallardo. Esta tesis es el resultado de todo su sacrificio día a día, su amor, apoyo y tesura en mi vida me han demostrado que con templanza se pueden cumplir los sueños. Cada palabra de aliento, su perseverancia y su ejemplo constante han sido mi inspiración. Cada día de trabajo incansable son tesoros que valoro profundamente. Sus enseñanzas y cariño, han dejado una huella imborrable en mi vida, y mi éxito académico que es un reflejo de tu inquebrantable dedicación.

A mis Abuelos: Sr. German Gallardo García y Prof. Graciela Mendoza Kravarovich, por estar siempre en los momentos que mi madre no ha podido, ustedes han cubierto este rol fundamental en mi vida, son ese ejemplo para salir adelante sin quejarse de las circunstancias.

A mis hermanos Juan David y Vinia Elena, para que sigan el ejemplo de su hermano mayor y así puedan ser grandes profesionales en un futuro no muy lejano.

Juan Andrés Mantilla Gallardo

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por guiarme en cada paso de mi vida y darme la fuerza necesaria para no rendirme.

Mi más sincero agradecimiento a mi tutor de tesis, el Ing. Folke Zambrano Vera, cuya experiencia, paciencia y apoyo constante fueron fundamentales para la realización de este trabajo.

A mi familia, especialmente a mi madre, le agradezco su amor incondicional y su apoyo inquebrantable. A mis abuelos maternos, gracias por ser mi pilar en los momentos difíciles.

A mis amigos y compañeros en especial a mi compañero de tesis Bryan Sánchez Rivera, gracias por su apoyo en los momentos de estrés y alegría. Ustedes fueron mi apoyo de contención y su amistad me ayudó a mantener el ánimo en los momentos más duros.

A mis amigos y compañeros en especial a mis compañeros Bryan Sánchez Rivera y Heidi Gabriela Delgado Sanchez, gracias por su compañía y apoyo en los momentos de estrés y alegría. Ustedes fueron mi red de contención y su amistad me ayudó a mantener el ánimo en los momentos más duros. Cada uno de ustedes contribuyó a que este proceso fuera más llevadero y significativo.

Finalmente, agradezco a todos los que participaron en esta investigación. Su ayuda en la recopilación de datos, revisión de mi trabajo y valiosos comentarios enriquecieron este proyecto de maneras que jamás imaginé.

Juan Andrés Mantilla Gallardo

DEDICATORIA

A mis padres, Julio Sánchez y Gissela Rivera. Esta tesis es el reflejo de todo lo que ustedes han sembrado en mí, la fuerza para no rendirme, la fe para seguir adelante y el amor que me sostuvo incluso en los días más difíciles.

Gracias, papá, por enseñarme con tu ejemplo el valor del trabajo honesto, por ser ese pilar silencioso que nunca se quebró, aunque el camino fuera duro.

Gracias, mamá, por tu ternura infinita, por tu fuerza disfrazada de dulzura y por guiarme siempre a ser una buena persona.

Cada página de este trabajo lleva su sacrificio, su lucha, su entrega. Este logro es tan suyo como mío, porque sin ustedes, simplemente no sería posible.

Con todo mi corazón, gracias por todo. Esta meta es para ustedes.

Bryan Sánchez Rivera

AGRADECIMIENTO

A lo largo de este camino académico, muchas personas han contribuido de manera significativa a la culminación de esta tesis, y es justo expresar mi más sincera gratitud. En primer lugar, agradezco profundamente a Dios, por la salud, la sabiduría y la fortaleza necesarias para llegar hasta este punto tan anhelado.

A mis padres, por su amor incondicional, su apoyo constante y por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia. Gracias por creer en mí incluso cuando las fuerzas flaqueaban.

A mi familia, quienes con palabras de aliento y su presencia silenciosa fueron un pilar fundamental en los momentos difíciles.

A mi tutor de tesis, Ing. Folke Zambrano, por su guía, confianza, paciencia y valioso aporte que enriquecieron el desarrollo de este trabajo. Su compromiso y exigencia fueron impulsores clave en cada etapa.

A mis docentes de la carrera de Ingeniería Marítima, quienes a lo largo de estos años compartieron sus conocimientos, experiencias y exigencias, formando en mí una base sólida para el ejercicio profesional.

Un agradecimiento especial al Ing. Jefferson Macías y al Sr. Ramón García, por ser una parte fundamental en la culminación de esta tesis. Su apoyo técnico, orientación y disposición para compartir su experiencia profesional fueron claves para este logro.

A mi compañero de tesis, Juan Mantilla, gracias por tu compromiso, responsabilidad y por haber compartido con entrega este reto académico. Tu disposición, constancia y capacidad para afrontar juntos cada desafío hicieron que este proceso sea más enriquecedor.

A mi amiga y compañera Heidi Delgado, gracias por estar presente en los momentos clave de esta etapa, por tu apoyo sincero, tu amistad firme y tus palabras de ánimo cuando más se necesitaban. Tu compañía ha sido un respaldo invaluable tanto dentro como fuera del aula, y siempre la recordaré con gratitud.

A mis compañeros y amigos, por su compañía a lo largo de esta carrera. Gracias por los momentos de estudio, las conversaciones sinceras y las experiencias compartidas que hicieron de esta etapa algo inolvidable.

A todos quienes, de alguna forma, aportaron a este logro. Este trabajo es el reflejo de un esfuerzo colectivo. A todos ustedes, mi más profunda gratitud.

Bryan Sánchez Rivera

INTRODUCCIÓN

El adecuado funcionamiento de los motores marinos es un aspecto crucial para la seguridad y efectividad en la operación de las embarcaciones. En el ámbito académico, contar con motores en condiciones óptimas no solo refuerza la formación técnica, sino que también facilita una comprensión práctica de los conceptos de ingeniería relacionados con el mantenimiento mecánico.

En la actualidad, se observa una falta de un enfoque sistemático en su mantenimiento, lo cual restringe su funcionalidad como herramienta educativa. Ante esta problemática, se propone la implementación de un plan de Mantenimiento Productivo Total (TPM) que permita recuperar, conservar y extender la vida útil del motor, integrando prácticas de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo. Esta iniciativa busca fomentar el aprendizaje técnico, aumentar la disponibilidad del equipo y promover una cultura de mejora continua entre los estudiantes de ingeniería.

RESUMEN

El trabajo presente sugiere la adopción del Mantenimiento Productivo Total (TPM) en el motor Yanmar 4JH-DTYE del taller de motores de la carrera de Ingeniería Marítima. El propósito es crear e implementar un plan de mantenimiento integral que abarque acciones predictivas, preventivas y correctivas, con el fin de maximizar la vida útil del motor, disminuir los costos operativos y mejorar la eficiencia tanto académica como técnica del equipo.

Mediante una metodología que incluye diagnóstico técnico, aplicación de las 5S, capacitación de los estudiantes y pruebas en banco, se busca revalorizar el motor como un recurso pedagógico. Asimismo, estableciendo un enfoque sistemático y confiable para el mantenimiento en el ámbito académico. Se espera que los resultados incluyan una mejora en la eficiencia del motor, un aumento en la participación estudiantil en procesos técnicos y la optimización de recursos institucionales.

Palabras clave: Técnico, mantenimiento, académico, mejorar, motor, eficiencia.

ABSTRACT

The present work suggests the adoption of Total Productive Maintenance (TPM) in the Yanmar 4JH-DTYE engine of the engine workshop of the Maritime Engineering career. The main objective is to create and implement a comprehensive maintenance plan that covers predictive, preventive and corrective actions, to maximize the useful life of the engine, reduce operating costs and improve both the academic and technical efficiency of the equipment.

Through a methodology that includes technical diagnosis, application of the 5S, student training and bench tests, it seeks to revalue the engine as a pedagogical resource. Likewise, establishing a systematic and reliable approach to maintenance in the educational field. The results are expected to include an improvement in engine availability, an increase in student participation in technical processes and the optimization of institutional resources.

Keywords: Technical, maintenance, academic, improve, engine, efficiency.

JUSTIFICACIÓN

El motor Yanmar es un componente de importancia dentro de la operación en alguna embarcación marina, su fiabilidad y eficiencia son importantes para garantizar la seguridad y rendimiento en una embarcación.

Actualmente, el taller de motores de la carrera de ingeniería Marítima de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí enfrenta desafíos relacionados a la falta de enfoque sistemático y proactivo en el uso y mantenimiento del motor.

La implementación del TPM ofrecerá la oportunidad de reestablecer el correcto uso del modelo, sirviendo como una capacitación continua y ayuda didáctica a las generaciones venideras.

Al desarrollar y aplicar el plan de mantenimiento se espera mejorar la fiabilidad del motor, contribución al conocimiento académico y práctico en el campo de la ingeniería, ofreciendo un manual completo de la correcta realización de un TPM pudiendo ser replicado en otros motores.

PROPUESTA

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) aplicado a los motores diésel tiene varios objetivos principales:

- ✓ **Maximizar la eficiencia:** mantener el motor funcionando al máximo, reduciendo el tiempo de inactividad y aumentando la productividad.
- ✓ **Evitar errores:** identificar y corregir problemas potenciales antes de que conduzcan a errores graves puede ayudar a evitar reparaciones costosas y tiempos de inactividad no planificados.
- ✓ **Prolongar la vida útil:** Mantener el motor en buenas condiciones, extienda la vida y obtener el máximo retorno de la inversión.
- ✓ **Mejorar la seguridad:** garantizar el funcionamiento seguro del motor, reducir el riesgo de accidentes y mejorar las condiciones de trabajo.
- ✓ **Reducir costos:** reducir los costos operativos y de mantenimiento a largo plazo con un enfoque preventivo y predictivo.

OBJETIVO GENERAL

Realizar un mantenimiento total productivo, así como, el desarrollo de planes de mantenimiento predictivo, preventivo y registro y análisis de mantenimientos realizados, para así maximizar la productividad, vida útil y reducir los costos operativos para el motor Yanmar 4JH-DTYE.

Objetivos específicos

- I.** Aumentar la disponibilidad del motor mediante un mantenimiento preventivo eficiente e implementar un sistema de control para lograr identificar problemas antes de que se conviertan en fallas en el motor.
- II.** Optimizar la utilización del motor para garantizar su función dentro de parámetros óptimos, y mediante un mantenimiento adecuado reducir el consumo de combustible, emisiones y desperdicio de recursos.
- III.** Fomentar la participación de estudiantes para que se involucren en mantenimientos, la identificación de posibles problemas y colaboren en una mejora continua.
- IV.** Implementar un sistema de retroalimentación para aprender de las experiencias para analizar y ajustar la estrategia de mantenimiento.
- V.** Identificar, regular y mitigar riesgos relacionados al funcionamiento del motor con prácticas de seguridad y procedimientos de emergencia.

CONTENIDO

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
INTRODUCCIÓN	VII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
JUSTIFICACIÓN	X
PROPUESTA	
XI	
OBJETIVO GENERAL	
XII	
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	XII
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	10
1. Mantenimiento Total Productivo (TPM).	10
1.1. Origen del mantenimiento productivo total.	10
1.2. Definición del mantenimiento productivo total.	11
1.3. Objetivos principales del mantenimiento productivo total.	12
1.4. Principios fundamentales del TPM.	12
1.5. ¿Qué son las 5S y cómo funcionan?	13
1.6. Los 8 pilares del TPM.	16
1.7. Etapas de la implementación del TPM.	20
1.8. ¿Cómo apoya el enfoque TPM la aplicación de una estrategia de mantenimiento?	21
1.9. Ventajas de utilizar un software de mantenimiento en la implementación del TPM	21
1.10. Automatización de tareas de mantenimiento preventivo y predictivo	21
1.11. Gestión eficiente de los recursos y seguimiento de indicadores clave	22
2. Motores de combustión interna.	22

2.2. Tipos de motores de combustión interna.....	23
2.3. El motor diésel.....	24
2.4. Constitución del motor diésel.....	28
2.5. Ciclo de trabajo del motor diésel.....	30
2.5.5. Escape. 4° tiempo.....	31
2.6. Diagrama del ciclo teórico del motor diésel.....	31
2.7. Ciclo práctico del motor diésel de cuatro tiempos.....	36
2.8. Compresión y combustión.....	39
2.9. Combustión.....	42
2.10. Intercambio de gases.....	44
2.11. Sobrealimentación.....	45
2.12. Tipos de motores diésel de cuatro tiempos.....	47
CAPÍTULO II: DIAGNÓSTICO DEL MOTOR	51
3. Diagnóstico técnico del motor, selección, diseño y construcción de sus elementos.....	51
3.1. Inspección visual.....	51
3.2. Inspección predictiva en la cámara de combustión mediante el boroscopio.....	55
3.3. Inspección predictiva con cámara termográfica.....	58
3.4. Desarme del motor Diésel.....	60
3.5. Desarme del cárter.....	63
3.6. Desarme del block.....	65
3.7. Desarme de la bomba de agua.....	69
3.8. Desarme del turbocompresor.....	70
3.9. Carcasa de turbina.....	71
3.9. Rueda compresora.....	72
3.9.3. Partes desarmadas del turbocompresor.....	74
3.10. Desarme del alternador.....	75
4. Armado del motor.....	76
4.1. Colocación de los pistones en el bloque del motor.....	76
4.2. Acoplamiento del pistón #1 y #4.....	77
4.3. Instalación de balanceador de aceite.....	78
4.5. Sellos de bronce tipo copa para el sistema de refrigeración.....	79
4.6. Colocación de sello de expansión en sistema de refrigeración.....	79
4.7. Pintado de intercambiadores de calor, bloque, cabezote, motor de arranque, alternador, bomba de agua, etc.....	80
4.8. Colocación de una base para la batería de 12V para el motor Yanmar.....	84
4.9. Colocación de mangueras de desfogue de aceite y refrigerante.....	85
4.10. Armado de la base de panel de control.....	86
CAPÍTULO III: BANCO DE PRUEBAS	87

Implementación del banco de pruebas.....	87
Pruebas de presión en los inyectores	87
Inyector de la cámara de combustión #2	88
Inyector de la cámara de combustión #3	88
Ensayos y pruebas	90
CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIONES	94
BIBLIOGRAFIA	97
Manual de instrucciones para motores de serie JH	112
II. Antes de poner el motor en funcionamiento.	112
Gasoil 112	112
Combustibles biodiésel	112
Los gasóleos B7 deben cumplir determinadas especificaciones.	113
Llenado del depósito de combustible	114
Purga del sistema de combustible	115
Viscosidad del aceite del motor	117
Comprobación del aceite del motor	117
Adición de aceite del motor	118
Especificaciones del aceite de inversor reductor marino.....	119
KM35P, KM35A, KM35A2, KM4A1, KM4A2, KMH4A:	119
ZF30M, ZF25A:	119
Comprobación de aceite de inversor reductor marino.....	119
Funcionamiento del motor	122
Arranque del motor.....	122
Si no consigue arrancar el motor.....	122
Funcionamiento de la palanca de control remoto.....	123
Apagado del motor.....	125
Apagado de emergencia	127
Mantenimiento Periódico	127
Apriete de sujeciones	127
Procedimientos de mantenimiento periódico	130
Tras las primeras 50 horas de funcionamiento	131
Cambio de aceite del inversor reductor marino y sustitución del filtro (si lo hay).....	133
Vaciado del filtro separador de agua/ combustible	136

Comprobación del nivel de electrolito de la batería (solo en baterías que pueden repararse).....	137
Cada 250 horas de funcionamiento	138
Cambio del refrigerante.....	143
Calibraciones para el motor Yanmar 4JH-DTYE	147
Calibración de presión de inyectores.....	147
Calibración y ajuste de la separación de la cabeza de la válvula.....	149
Vibración mecánica: Donde colocar el sensor de vibraciones según la norma ISO 10816-6	151
Termografía: Puntos críticos para la medición de temperatura con la cámara termográfica al motor Yanmar	152

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Los 8 pilares del TPM.	19
Figura 2. Automatización de tareas de mantenimiento.....	22
Figura 3. Motor de combustión interna.....	23
Figura 4. Motor diésel.....	26
Figura 5. Turbulencia en la precámara de combustión de un motor diésel de inyección indirecta.	27
Figura 6. Turbulencia en un diésel de inyección directa.	27
Figura 7. Constitución de un motor diésel.	29
Figura 8. Ciclo teórico del motor diésel de 4 tiempos.	30
Figura 9. Admisión de aire.....	32
Figura 10. Compresión.....	33
Figura 11. Combustión.....	33
Figura 12. Expansión.	34
Figura 13. Escape.....	35
Figura 14. Evoluciones teóricas del diagrama de trabajo diésel.....	36
Figura 15. Diagrama real del ciclo diésel.	38
Figura 16. Pérdidas en el diagrama de trabajo.	38
Figura 17. Diésel de inyección directa.....	41
Figura 18. Diésel de inyección indirecta.....	41
Figura 19. Desarrollo de la combustión.....	42
Figura 20. Inyección del combustible.....	44
Figura 21. Diagrama de distribución diésel.	45

Figura 22. Sobrealimentación por turbocompresor.	47
Figura 23. Turbulencia de admisión.	49
Figura 24. Diésel rápido de inyección directa.	50
Figura 25. Presencia de oxidación en la brida de escape del motor.	51
Figura 26. Rotura del capuchón, dejando expuesto el conductor del cable positivo de conexión a la batería.	52
Figura 27. Presencia de óxido en la carcasa externa del alternador y componentes metálicos expuestos.	52
Figura 28. Inspección del nivel de refrigerante, demostrando niveles muy bajos y presencia de oxidación.	53
Figura 29. Mangueras del sistema de combustible en mal estado y fugas.	53
Figura 30. Presencia de oxidación en la brida que conecta el eje, propela y hélice.	54
Figura 31. Inspección de inyectores, observando presencia de oxidación.	54
Figura 32. Presencia de hollín, oxidación y humedad en inyectores.	55
Figura 33. Inspección visual interna mediante boroscopio (a través del alojamiento de los inyectores).	55
Figura 34. Cabeza de pistón con leve depósito de carbonilla (pistón 1).	56
Figura 35. Camisa sin presencia de ralladuras profundas, sin pérdida de material visible (pistón 1 y 2).	56
Figura 36. Camisa con presencia de posibles fugas de combustible (pistón 4).	57
Figura 37. Cabeza de pistón con leve depósito de carbonilla (cilindro 4).	57
Figura 38. Irradiación de calor del cárter en 80.9 °C.	58
Figura 39. Temperatura del escape en 71.8 °C.	58
Figura 40. Temperatura de 72.2 °C en la bomba de combustible.	59
Figura 41. Temperatura de 79.9 °C en la bomba de inyección.	59

Figura 42. Empaques de la culata en mal estado.	60
Figura 43. Culata del motor con oxidación en el árbol de levas y balancines.	60
Figura 44. Oxidación de balancines.	61
Figura 45. Muelles de la culata.	61
Figura 46. Manguera de inyección agrietadas.	62
Figura 47. Pernos de cabezote quebrado.	62
Figura 48. Empaque del block degradado.	63
Figura 49. Residuos de lodo y hollín en el cárter.	63
Figura 50. Sellos de bronce tipo copa perforados.	64
Figura 51. Balanceador de cigüeñal.	64
Figura 52. Camisa de cilindro #1 con presencia de carbonización de aceite y hollín.	65
Figura 53. Camisa de cilindro #2 con carbonilla debido a una combustión incompleta.	65
Figura 54. Pistón #4 en buenas condiciones.	66
Figura 55. Segmento de fuego del pistón #4.	67
Figura 56. Segmento de compresión del pistón #4.	67
Figura 57. Segmento de lubricación del pistón #4.	68
Figura 58. Cojinetes con rayaduras debido a una falta de lubricación.	68
Figura 59. Impeler de la bomba fragmentado.	69
Figura 60. Partes del impeler divididos.	69
Figura 61. Sistema de admisión forzada íntegro.	70
Figura 62. Desarme del sistema de admisión forzada.	70
Figura 63. Carcasa del turbocompresor con presencia de hollín.	71
Figura 64. Vista mejorada con mejor visualización del hollín.	71
Figura 65. Rueda compresora con hollín y suciedad.	72
Figura 66. Visualización de la carcasa del turbocompresor.	72

Figura 67. Eje de la turbina con hollín en el impeler.....	73
Figura 68. Rayadura en el eje de la turbina.	73
Figura 69. Visualización completa de las partes del sistema de admisión forzada.	74
Figura 70. Rotor del alternador.....	75
Figura 71. Estator del alternador.....	75
Figura 72. Colocación del pistón #1 con la faja de compresión de rines.....	76
Figura 73. Colocación del pistón #1 y #4 en el block con su respectivo empaque.	77
Figura 74. Acoplamiento de balanceador de aceite en el cárter.	78
Figura 75. Pintado y colocación de empaque del cárter.	78
Figura 76. Instalación de sellos de bronce en el sistema de refrigeración.	79
Figura 77. Colocación de anillos de expansión.	79
Figura 78. Armado de intercambiador de calor de la caja reductora.	80
Figura 79. Vista frontal del armado del intercambiador de calor.	81
Figura 80. Vista frontal del pintado y montaje.	82
Figura 81. Pintado completo del motor Yanmar.....	82
Figura 82. Colocación del tanque de combustible.	83
Figura 83. Se colocó la base de la batería y las mangueras de acelerador y reversa.	84
Figura 84. Colocación de mangueras de desfogue de aceite y refrigerante.....	85
Figura 85. Colocación de una base de plancha para el panel de control. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 86. Prueba de encendido del motor, con los indicadores de presión de aceite y temperatura.	86
Figura 87. Prueba de presión al inyector #1.	87
Figura 88. Prueba de presión al inyector #2.	88
Figura 89. Prueba de presión al inyector #3.	88

Figura 90. Prueba de presión al inyector #4.	89
Figura 91. Prueba de encendido del motor Yanmar.	90
Figura 92. Prueba de encendido #2 del motor Yanmar.	90
Figura 93. Entrega del motor Yanmar en el taller de motores.	91
Figura 94. Vista isométrica del motor Yanmar 4JH-DTYE.	91
Figura 95. Vista lateral izquierdo del motor Yanmar 4JH-DTYE.	92
Figura 96. Vista frontal del motor Yanmar 4JH-DTYE.	92

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1. Mantenimiento Total Productivo (TPM).

El Mantenimiento Productivo Total (TPM, por sus siglas en inglés) comenzó como un método de gestión de activos físicos centrado en el mantenimiento y la mejora de la maquinaria de fabricación, con el fin de reducir los costes operativos de una organización. (fractal, 2020)

1.1. Origen del mantenimiento productivo total.

Las raíces del TPM provienen de la Industria Japonesa aproximadamente durante la década de los 50's.

La técnica evolucionó gradualmente desde los principios de mantenimiento utilizados desde mucho tiempo atrás. Las máquinas y los procesos se mantenían en funcionamiento hasta que se rompían. Esta forma de mantenimiento era conocida como “mantenimiento de roturas”. Hubo una preocupación creciente acerca de la ineficiencia y la miopía de esta práctica y un presentimiento de que algo mejor se podía realizar. Escribiendo para la Harvard Business Review en 1968, JJ Wilkinson, un consultor de management con HB Maynard & Co sugirió que “la mayoría de las fábricas de hoy están en posición de reducir sus costos de mantenimiento a 1/3 o menos y mejorar significativamente los niveles de productividad”.

La siguiente fase mostró el avance del “Mantenimiento Preventivo” y el “Mantenimiento Planeado” aunque había una gran confusión en cómo eran utilizados estos términos. Se ha usado y se lo sigue haciendo para indicar un sistema de programación ordenada con sus beneficios adicionales. También se utiliza para indicar sólo las técnicas empleadas para reducir el trabajo de las tareas de mantenimiento. La última opinión se originó en el reconocimiento que la programación ordenada solo apuntaba a reducir las

paradas de máquina. Debido a esta desafortunada confusión es preferible evitar el uso del término al menos que se lo defina claramente antes de ser utilizado.

Luego de su exitosa implementación en miles de importantes empresas en Asia, hacia finales de los 70's el TPM comenzó a aplicarse en América.

Durante los 80s los principios del Total Quality Management (TQM) comenzaron a influir en la función de mantenimiento sobre todo por la estrategia de invertir en la capacitación de los operarios. Otra cosa que contribuyó fuertemente en la evolución del TPM fue la mayor sofisticación del software. El desarrollo de los Sistemas Computarizados de Administración de Mantenimiento (Computerized Maintenance Management System (CMMS)) los cuales forman parte de los Sistemas de Ejecución de Manufacturas MES fue el mayor de los vínculos.

El TPM siguió evolucionando y si bien se identificaron y reagruparon causas que originaban pérdidas el objetivo se enfocó en la Mejora Continua de los Procesos. Se arribó a la conclusión de que debían obtenerse datos precisos de los procesos en cuanto a tiempos, productividad y la calidad de los productos elaborados y que era necesario contar con un instrumento para medir estas mejoras. El OEE se convirtió en el standard para la evaluación de la industria y se lo utiliza como indicador de gestión. (Amorelli, 2019).

1.2. Definición del mantenimiento productivo total.

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) es un sistema holístico para mantener la integridad de los activos de una organización. En vez de dejar que solo el equipo de mantenimiento se preocupe por el cuidado y bienestar de los activos, el TPM involucra a todos los empleados de la organización para prevenir cualquier tipo de falla o avería. Originario de Japón, este sistema busca cambiar la filosofía de mantenimiento de una empresa para involucrar a cada integrante en el cuidado y mantenimiento de los equipos.

El TPM es un enfoque que sitúa el mantenimiento en el centro del rendimiento industrial. (fracttal, 2020)

1.3. Objetivos principales del mantenimiento productivo total.

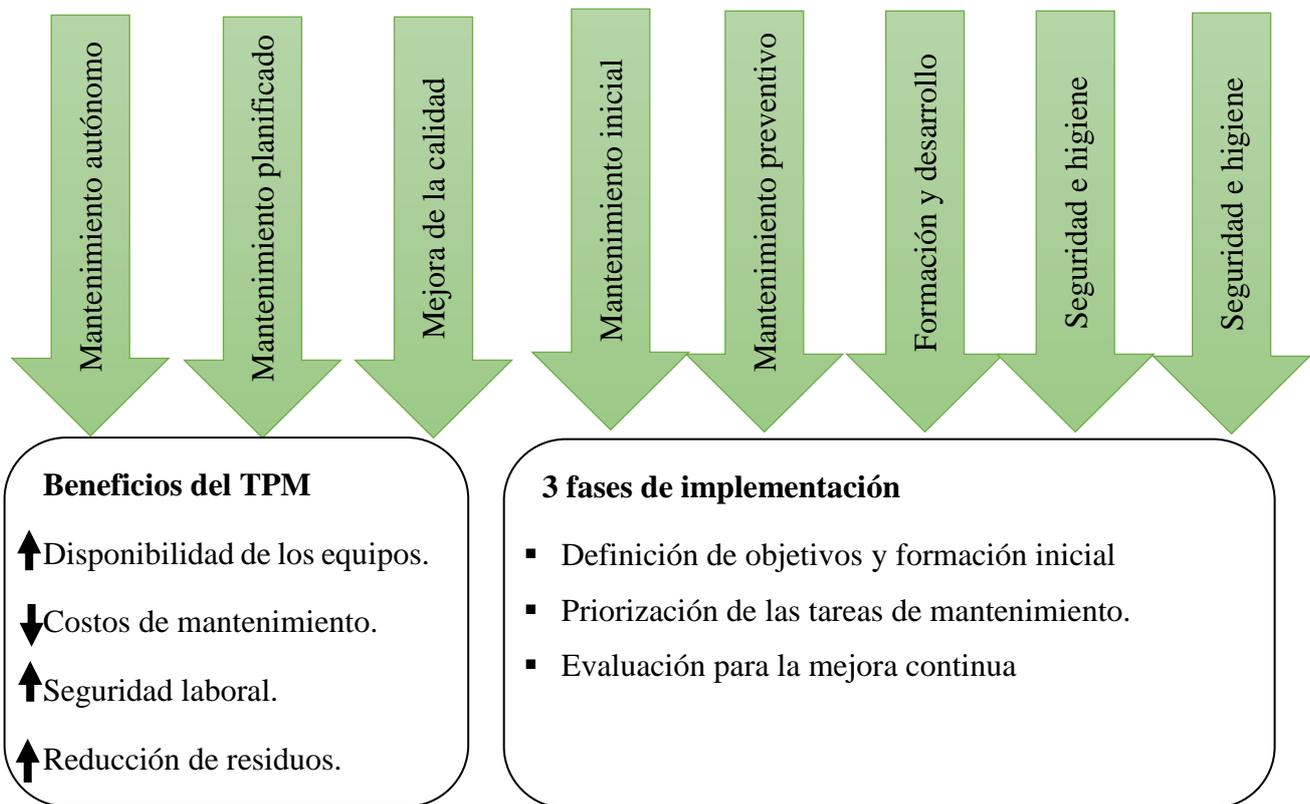
El objetivo principal del TPM es incrementar la productividad de tus activos. Para lograr esto, se busca reducir el tiempo muerto e incrementar la productividad de todos tus equipos de producción. El TPM es un sistema sumamente ambicioso, ya que busca la eliminación total de cualquier pérdida por falla o demora en producción, incluyendo:

- **Pérdidas por fallas inesperadas.** Estas son causadas por accidentes o rupturas repentinas que paran la producción.
- **Pérdidas por instalación y ajustes.** Estas son las pérdidas asociadas con el tiempo muerto en el equipo de producción cuando hay cualquier cambio en las condiciones de operación.
- **Pérdidas por paros.** Estas ocurren cuando el equipo de producción sufre de paros operacionales, generalmente por menos de 10 minutos.
- **Pérdidas de velocidad.** Estas resultan de la pérdida de velocidad asociada con un equipo de mantenimiento en mal estado, ya que no puede operar a una velocidad óptima.
- **Pérdidas de calidad.** Cuando los activos no se encuentran en la mejor condición, la calidad del producto final se puede ver afectada.
- **Pérdidas de capital.** Los activos en mal estado perderán su valor más rápidamente que los equipos en buenas condiciones.

1.4. Principios fundamentales del TPM.

Los principios fundamentales del TPM están basados en el concepto japonés de Kaizen, el cual se enfoca en eliminar pérdidas e incrementar eficiencia. Como ya lo

sabes, la meta principal del TPM es prácticamente imposible de alcanzar, pero ese no es el punto. El punto del TPM es buscar mejorar constantemente para poder mejorar poco a poco, alcanzando eficiencias de productividad en cualquier nivel de producción. (Maint, 2020).



1.5. ¿Qué son las 5S y cómo funcionan?

Las 5S es un sistema para organizar los espacios de manera que el trabajo se pueda realizar de forma eficiente, efectiva y segura.

Este sistema se centra en poner todo en su sitio y mantener el lugar de trabajo limpio, lo que facilita a las personas hacer su trabajo sin perder tiempo o arriesgarse a sufrir lesiones.

El concepto de las 5S implica evaluar todo lo presente en un espacio, eliminar lo innecesario, organizar las cosas lógicamente, realizar tareas de limpieza, y mantener este ciclo en marcha. (Aula 21, 2020).

El término 5S viene de cinco palabras japonesas:

- a) Seiri: clasificar
- b) Seiton: ordenar
- c) Seiso: limpiar
- d) Seiketsu: estandarizar
- e) Shitsuke: Disciplinar

1.5.1. Seiri (clasificar)

El primer paso de las 5S implica revisar todas las herramientas, mobiliario, materiales, equipos, etc. en un área de trabajo para determinar lo que debe estar presente y lo que puede ser eliminado. Algunas preguntas que deben hacerse durante esta fase incluyen: (fractal, 2020)

- ¿Cuál es el propósito de este objeto?
- ¿Cuándo se usó este elemento por última vez?
- ¿Con qué frecuencia se utiliza?
- ¿Quién lo usa?
- ¿Realmente necesita estar aquí?

1.5.2. Seiton (Ordenar)

Una vez que el desorden extra desaparece, es más fácil ver qué es cada cosa. En esta fase los grupos de trabajo pueden idear sus propias estrategias para clasificar los objetos restantes. En consecuencia, hay una serie de elementos a tener en cuenta: (Aula 21, 2020)

- ✓ ¿Qué personas (o estaciones de trabajo) utilizan determinados objetos o materiales?
- ✓ ¿Cuándo se utilizan los objetos?

- ✓ ¿Qué objetos se utilizan con mayor frecuencia?
- ✓ ¿Deberían agruparse los objetos por tipo?
- ✓ ¿Dónde sería más lógico colocar los objetos?
- ✓ ¿Serían algunas ubicaciones más ergonómicas para los trabajadores que otras?
- ✓ ¿Podrían algunas ubicaciones reducir los movimientos innecesarios?
- ✓ ¿Se necesitan más contenedores de almacenamiento para mantener las cosas organizadas?

1.5.3. Seiso (Limpiar)

La fase de limpieza de las 5S se centra en la superficie de trabajo, lo que significa barrer, fregar, quitar el polvo, limpiar las superficies, guardar las herramientas y los materiales, etc.

Además de la limpieza básica, el Seiso también implica realizar un mantenimiento regular de los equipos y la maquinaria.

Planificar el mantenimiento con antelación significa que las empresas pueden detectar problemas y evitar averías. Esto significa menos pérdida de tiempo y ninguna pérdida de beneficios relacionada con las paradas de trabajo. (Aula 21, 2020)

1.5.4. Seiketsu (Estandarizar)

La estandarización sistematiza todo lo que acaba de suceder y convierte los esfuerzos de una sola vez en hábitos. Así mismo, asigna tareas regulares, crea horarios y publica instrucciones para que estas actividades se conviertan en rutinas. También, crea procedimientos operativos estándar para que el orden no se pierda.

Dependiendo del espacio de trabajo, se creará una lista de verificación o una tabla de las 5S diarias. Otro instrumento útil es un calendario que indica la frecuencia con la que deben realizarse ciertas tareas de limpieza y quién es responsable de ellas.

1.5.5. Shitsuke (Disciplinar)

El Shitsuke se refiere al proceso de mantener las 5S funcionando sin problemas, pero también de mantener a todos involucrados en la organización. Los gerentes necesitan participar, al igual que los empleados en la planta de producción, en el almacén o en la oficina.

El Shitsuke trata de hacer de las 5S un programa a largo plazo, no sólo una tarea ocasional o un proyecto a corto plazo. Lo ideal es que las 5S se conviertan en parte de la cultura de la empresa. (Aula 21, 2020)

1.6. Los 8 pilares del TPM.

Los 8 pilares en los que se debe basar cualquier programa de TPM son los siguientes:

1.6.1. Mantenimiento autónomo

El mantenimiento autónomo es el pilar más importante del TPM, ya que es el que plantea la filosofía principal de este sistema en toda la organización. Con este pilar, el cuidado y mantenimiento de los activos se convierte en una tarea de todos los miembros de una organización, desde los vendedores de piso hasta los ejecutivos.

De especial importancia son los empleados que operan el equipo de producción en su día a día, ya que estos deben contar con la capacitación para mantener sus equipos en la mejor condición posible. (Dimo Maint, 2020).

1.6.2. Mantenimiento planificado

El mantenimiento planificado es otro pilar esencial del TPM, ya que busca dar mantenimiento a los equipos de producción en el tiempo ideal para minimizar la interrupción del servicio. Al planificar el mantenimiento, podrás aprovechar los periodos lentos o de tiempo muerto en tu línea de producción para reducir ineficiencias.

De igual manera, el equipo de mantenimiento debe estar al tanto de la vida útil y las necesidades de mantenimiento de cada pieza de tu equipo de producción. Esto les permitirá anticipar cualquier reparación o reemplazo necesario antes de tiempo y así minimizar la disrupción a tus activos por causa del mantenimiento.

1.6.3. Mejora de la calidad

Además de reducir el número total de fallas y el tiempo muerto, el TPM también busca mejorar la calidad de los productos. Al implementar un sistema holístico de mantenimiento que logre mantener al equipo de producción en el mejor estado posible, la calidad de los productos indudablemente se verá afectada positivamente.

Además, la filosofía de “cero fallas” del TPM también incluye a los productos realizados. Tu equipo de mantenimiento también deberá de estar al tanto de la calidad de los artículos finales, ya que cualquier falla o defecto en el área de producción deberá ser rectificadas para garantizar la calidad del producto.

1.6.4. Mantenimiento inicial

Para apoyar el proceso de TPM desde la raíz, es importante considerar los principios de cero fallas desde el momento de la planeación y adquisición de los equipos de producción. Si lo que se busca es reducir el número total de pérdidas en la producción, entonces esta meta debe estar muy en claro desde el momento de la adquisición de los activos de producción y la implementación de los sistemas.

Para hacer esto, es crucial involucrar al departamento de mantenimiento desde la etapa de diseño de nuevos equipos. Este paso es especialmente importante para organizaciones que renuevan sus equipos frecuentemente, ya que instalar un nuevo sistema con TPM en mente les ayudará a lograr sus objetivos. (Dimo Maint, 2020).

1.6.5. Mantenimiento planeado

El mantenimiento planeado busca prevenir fallas y averías al darle mantenimiento a los equipos antes de que sea necesario. Si bien es imposible evitar por completo todo tipo de problemas, realizar tareas de mantenimiento antes de que estos se presenten reducirá significativamente la frecuencia y severidad de cada falla. A diferencia del mantenimiento correctivo, las tareas de mantenimiento se realizan proactivamente antes de que el equipo falle.

Para lograr esto, el mantenimiento planificado puede ser sistemático, condicional o preventivo. Los sistemas más avanzados de mantenimiento productivo también utilizan indicadores de desempeño y producción para identificar el momento ideal para llevar a cabo las tareas de mantenimiento.

1.6.6. Formación y desarrollo

Capacitar y desarrollar a todo el personal de la organización es un pilar fundamental del TPM. Además de asegurar que los operadores del equipo de producción cuenten con las mejores prácticas para el buen cuidado de sus equipos, también es importante capacitar a todo tipo de personal sobre la importancia del TPM. Teniendo en cuenta el principio de la mejora continua, la cultura del TPM debe estar inculcada en todos los miembros de la organización, sin importar los detalles de sus tareas cotidianas.

1.6.7. Seguridad, higiene y medio ambiente

Mantener un ambiente seguro y saludable es otro pilar importante del TPM. Al reducir el número de fallas y problemas en el equipo de producción, el TPM fomenta un ambiente laboral seguro y con menos accidentes. Esto hará que los miembros del equipo puedan sentirse más seguros al saber que los activos con los que trabajan están en las mejores condiciones y presentan la menor posibilidad de dar fallas.

De igual manera, maximizar la eficiencia y productividad del equipo de producción será beneficioso para el medio ambiente, ya que cada producto final tomará menos recursos. Así, una producción eficiente y sin pérdidas también reducirá la cantidad total de desperdicio generada, lo que tendrá un impacto positivo en el medio ambiente.

1.6.8. Administración del equipo

Los principios del TPM no solo están limitados al área de producción. Cualquier empresa puede aprovechar esta cultura para reducir ineficiencias y mejorar productividad en cualquier nivel de la organización. Esto es especialmente importante con el equipo administrativo, ya que esta toma decisiones importantes sobre gestión efectiva de los equipos y activos.

Además, el departamento administrativo generalmente se encarga de tareas esenciales para el equipo de producción, como el procesamiento de pedidos, la adquisición de nuevos equipos y la planificación de horarios de los empleados. Agilizar estos procesos y reducir redundancias apoyará al equipo de producción.



Figura 1. Los 8 pilares del TPM.

Fuente: (Aula 21, 2012)

1.7. Etapas de la implementación del TPM.

1.7.1. Fase de preparación

La primera tarea en cualquier implementación del TPM es definir las metas. Cada organización funciona de manera diferente, así que llegar al punto de eficiencia perfecta para ti no será igual que para otras organizaciones. En esta fase, los equipos relevantes definirán las metas a lograr con la implementación del programa de TPM y comenzarán a planear la mejor manera de lograrlo. Así mismo, todos los miembros de la organización recibirán una capacitación inicial para comprender el propósito de TPM y lo que implicará en su trabajo cotidiano. (fractal, 2020).

1.7.2. Fase de puesta en marcha

Al momento de iniciar, una de las tareas más importantes es crear una lista de las fallas a resolver y tareas de mantenimiento pendiente. Así, podrás priorizar las tareas más urgentes para poder restaurar tu equipo de mantenimiento a perfecta condición.

Una vez que te hayas puesto al corriente con las tareas de mantenimiento pendientes, podrás echar a andar tu estrategia de mantenimiento preventivo. Con estos dos pasos, podrás asegurarte de que tu equipo de producción no volverá a encontrarse en un estado de deterioro e improductividad.

1.7.3. Fase de consolidación

La tarea más importante del TPM comienza una vez que hayas a andar el sistema de mantenimiento preventivo. Para cumplir con la cultura de mejoramiento constante y cero fallas, lo más importante es monitorear y evaluar los resultados obtenidos. El verdadero trabajo comienza aquí, donde tendrás que evaluar los procesos de mantenimiento para encontrar áreas de mejora y redundancias en tus sistemas. (Dimo Maint, 2020).

1.8.¿Cómo apoya el enfoque TPM la aplicación de una estrategia de mantenimiento?

1.8.1. Explicación de la relación entre el mantenimiento y el TPM

Cualquier política de mantenimiento depende en gran parte de la relación de los empleados con el equipo de producción. En un sistema de TPM, todos los empleados están sensibilizados a su impacto sobre los activos de la empresa. Por ende, un sistema de mantenimiento será mucho más fácil de implementar cuando todos los usuarios de los activos tienen la tarea personal de mantener la integridad del dispositivo.

1.9.Ventajas de utilizar un software de mantenimiento en la implementación del TPM

Para facilitar la implementación de la cultura TPM a tu empresa, un CMMS especializado podría ayudarte a registrar las acciones realizadas por cada miembro de la organización. Esto te ayudará a tener un control y un historial de las tareas de mantenimiento realizadas por cada usuario y, más importantemente, te ayudará a optimizar las tareas necesarias para mantener el nivel de calidad de cada activo.

1.10. Automatización de tareas de mantenimiento preventivo y predictivo

La mejor manera de asegurarse de que todos los empleados puedan cuidar correctamente del equipo de producción es crear sistemas que automatizan el mantenimiento de ellos. Implementar sistemas de mantenimiento preventivo y predictivo te ayudará a acercarte a la meta de cero fallas, cero averías, y cero tiempos muertos del TPM.

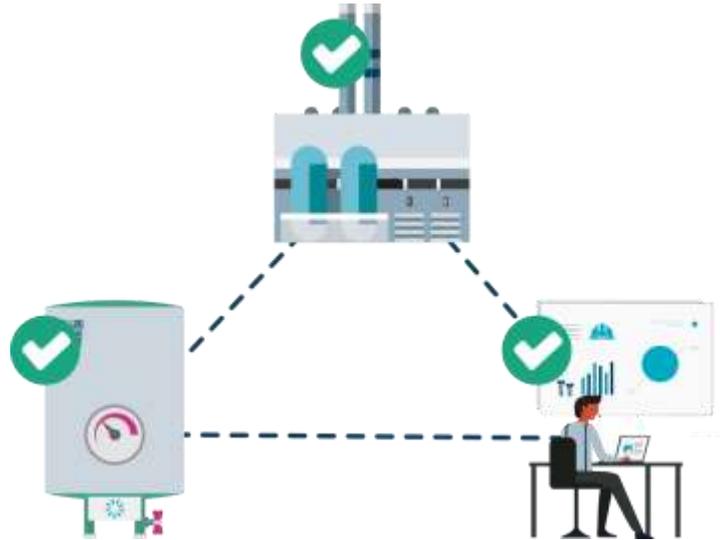


Figura 2. Automatización de tareas de mantenimiento.

Fuente: (Dimo Maint, 2020)

1.11. Gestión eficiente de los recursos y seguimiento de indicadores clave

Como ya lo sabes, el TPM se especializa en la reducción de pérdidas innecesarias. Esto incluye tareas de mantenimiento redundantes, incluso si practicas el mantenimiento preventivo. Para reducir las tareas que no presentan un beneficio neto a la organización, es necesario grabar y analizar indicadores clave tras cada tarea de mantenimiento. (fractal, 2020).

2. Motores de combustión interna.

Se denomina así al motor que transforma la energía térmica en energía mecánica mediante la combustión de una mezcla de aire y carburante que se quema interiormente generando un trabajo mecánico. (Santiago Sanz, 2007).

Los motores térmicos de combustión interna empleados deben reunir una serie de cualidades:

- ✓ Buen rendimiento, es decir, que transformen en trabajo buena parte de la energía que produce la combustión.
- ✓ Bajo consumo en relación con su potencia.

- ✓ Gases de escape poco contaminantes.
- ✓ Fiabilidad y durabilidad.
- ✓ Bajo coste de fabricación y mantenimiento.



Figura 3. Motor de combustión interna.

Fuente: (Álvarez, 2011)

2.2. Tipos de motores de combustión interna.

El motor térmico de combustión interna es utilizado por todo tipo de vehículos autopropulsados: (Sektor, 2025)

- ✓ Automóviles y motocicletas.
- ✓ Camiones y autobuses.
- ✓ Maquinaria agrícola y de obras públicas.
- ✓ Locomotoras, barcos y aviones ligeros.

Además de otras múltiples aplicaciones:

- ✓ Generadores eléctricos, compresores, motobombas, motosierras, cortacésped, etc.

Clasificación de los motores de combustión interna		
Por el inicio de la combustión	Por el ciclo de trabajo	Por el movimiento del pistón
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Motor de encendido por chispa (Otto). ▪ Motor de encendido por compresión (diésel). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Motor de cuatro tiempos. ▪ Motor de dos tiempos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Motor de pistón alternativo. ▪ Motor rotativo.

2.3. El motor diésel.

Es un motor térmico de combustión interna que funciona siguiendo el ciclo Diesel. En la admisión se introduce únicamente aire, que se mezcla con el combustible dentro del cilindro. (Morales & Hernández Guzmán, 2014)

Dispone de un sistema de inyección que introduce el combustible pulverizado en la cámara de combustión.

La inflamación se obtiene por contacto con el aire, que ha adquirido una alta temperatura debido a la fuerte compresión. (Morales & Hernández Guzmán, 2014)

Su ciclo de funcionamiento se realiza en cuatro tiempos:

- ✓ Admisión de aire puro.
- ✓ Compresión.
- ✓ Inyección, combustión y expansión.
- ✓ Escape de los gases quemados.

2.3.1. Combustible

El motor Diesel consume generalmente gasóleo: un carburante que se obtiene por destilación del petróleo tiene una densidad de 0,81 a 0,85 kg/L a 15 °C y un poder calorífico de unos 42.000 kJ/kg (10.000 kcal/kg).

Debe estar exento de agua e impurezas para proteger el sistema de inyección.

El gasóleo tiene que inflamarse rápidamente al tomar contacto con el aire comprimido en el momento de ser inyectado, por tanto, debe tener una temperatura de inflamación baja. Su facilidad de inflamación se mide por el índice de cetano, cuanto mayor es este, menor será la temperatura necesaria para inflamarlo.

La viscosidad de este combustible aumenta con las bajas temperaturas. Cuando se superan los 25 °C bajo cero, presenta dificultades a su paso por filtros y conductos del sistema de inyección, haciéndose muy difícil el arranque en frío. En algunos motores destinados a climas fríos, se dispone de un sistema calentador en el filtro de combustible. (Speight, 2011)

También se emplea actualmente el biodiésel, un combustible que se obtiene de diferentes aceites vegetales.

2.3.2. Formación de la mezcla

El aire se mezcla con el combustible dentro del cilindro al final de la compresión.

El sistema de inyección proporciona la presión necesaria para que el inyector introduzca el combustible, finamente pulverizado, en la cámara de combustión.

Debido al poco tiempo disponible para formar la mezcla, es preciso que el aire comprimido tenga una alta temperatura para facilitar la gasificación del combustible. Además, es necesario que adquiera una gran turbulencia para que se mezcle con la mayor cantidad posible de aire, de forma que cada gota de combustible esté rodeada por el oxígeno suficiente para quemarse.

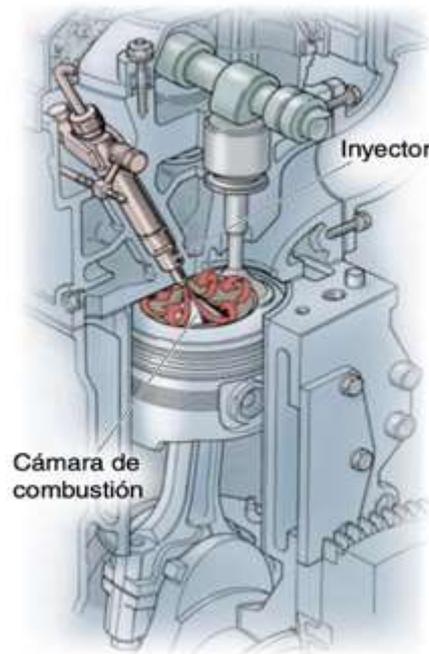


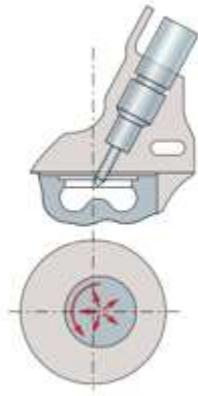
Figura 4. Motor diésel.

Fuente: (Santiago Sanz, 2007)

La formación de la mezcla depende esencialmente del tipo de cámara de combustión empleada en el motor:

- 🚩 **Motores de inyección directa**, en los que la turbulencia del aire es relativamente baja. En estos motores la formación de la mezcla depende principalmente del sistema de inyección que proporciona altas presiones, con buena penetración del combustible en el aire, distribuyéndose uniformemente. Se emplea un inyector de varios orificios. (Chindon Livisaca & Palaguachi Sumba, 2011)

- **Motores con cámara auxiliar o de inyección indirecta**, en los que se consiguen altas turbulencias debido a la combustión parcial que tiene lugar en la precámara y que se propaga a gran velocidad a través de estrechos conductos. En este caso la presión de inyección es menor, empleándose inyectores de un solo orificio. (Chindon Livisaca & Palaguachi Sumba, 2011)



2.3.3. **Figura 6.** Turbulencia en un diésel de inyección directa.

Fuente: (Santiago Sanz, 2007)

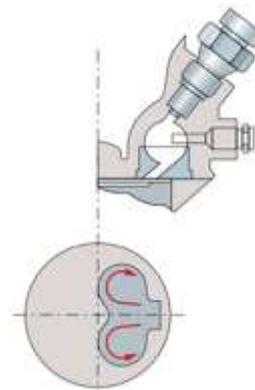


Figura 5. Turbulencia en la precámara de combustión de un motor diésel de inyección indirecta.

Fuente: (Santiago Sanz, 2007)

Encendido

El combustible es inyectado al final de la compresión y se enciende porque el aire comprimido está a una temperatura suficientemente alta como para provocar el inicio de la combustión (superior a 500 °C).

El encendido se produce antes de que el pistón llegue al PMS. Desde el comienzo de la inyección hasta que empieza a inflamarse el combustible, ya mezclado con el aire, transcurre un tiempo llamado retraso del encendido. Este retraso ha de ser compensado con un avance a la inyección.

En los motores con cámara auxiliar son necesarias bujías de calentamiento para facilitar el arranque en frío.

2.3.4. Carga del cilindro

El llenado de aire del cilindro en un motor diésel ha de ser siempre el máximo posible, ya que el exceso de aire facilita una combustión completa. No existe mariposa de gases y el colector de admisión no presenta ninguna estrangulación en el paso de aire. La regulación de la carga del motor se consigue variando la cantidad de combustible inyectado mediante el pedal acelerador, que actúa sobre elemento dosificador del sistema de inyección.

2.4. Constitución del motor diésel

La estructura básica del motor diésel es muy similar a la del motor Otto. Las principales diferencias se pueden encontrar en el sistema de inyección y en la forma de las cámaras de combustión.

Los demás elementos constructivos presentan unas características que se adaptan a sus duras condiciones de trabajo. Es un motor que desarrolla altas presiones en la compresión y en la combustión, alcanzando temperaturas muy elevadas, por lo que sus piezas han de ser robustas y con unos precisos ajustes.

Como consecuencia, el motor diésel es más pesado y tiene un mayor coste de fabricación.

Los pistones se construyen reforzados en diferentes zonas y con unas características específicas. El alojamiento del bulón, encargado de transmitir la fuerza a la biela, es más resistente. Se incorporan anillos de acero en la ranura del segmento superior para soportar las altas temperaturas. La dilatación térmica se regulariza de forma muy precisa mediante la inserción de placas de acero. Los pistones generalmente se refrigeran por medio de surtidores de aceite. (Finders, 2022).



Figura 7. Constitución de un motor diésel.

Fuente: (Santiago Sanz, 2007)

Otros elementos que se refuerzan convenientemente en el motor Diesel son: el cigüeñal, las bielas, los soportes de bancada y los cojinetes de fricción. También los sistemas de refrigeración y engrase se adecuan a las mayores exigencias de este tipo de motor. (Acebes, 2022).

2.5. Ciclo de trabajo del motor diésel.

2.5.1. Ciclo teórico del motor diésel de cuatro tiempos.

El ciclo teórico del motor Diesel de cuatro tiempos se desarrolla en cuatro carreras del pistón, correspondiente a dos vueltas de cigüeñal.

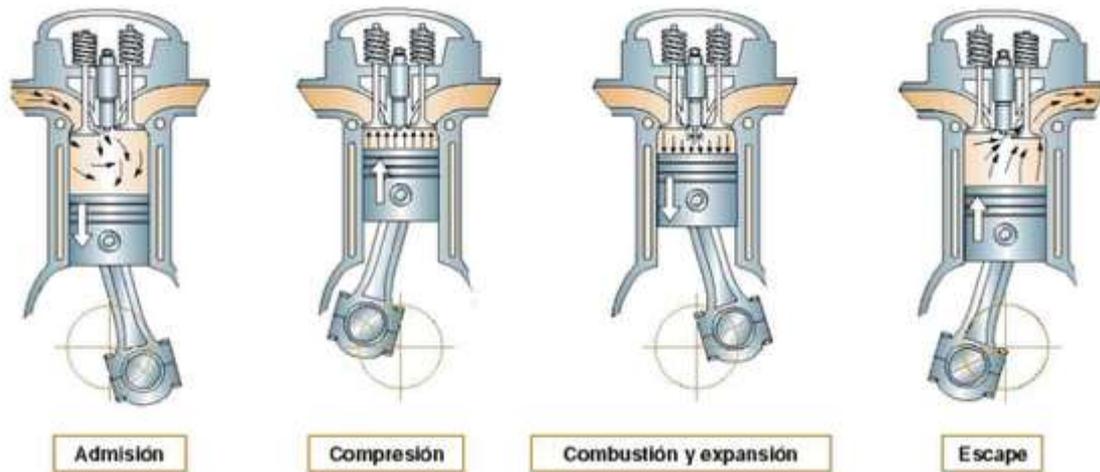


Figura 8. Ciclo teórico del motor diésel de 4 tiempos.

Fuente: (Santiago Sanz, 2007)

2.5.2. Admisión. 1º tiempo.

La válvula de admisión se abre y el pistón comienza a descender desde el PMS; el aire empieza a entrar en el cilindro.

En teoría el pistón desciende manteniendo una presión igual a la atmosférica en el interior del cilindro. En el PMI la válvula de admisión se cierra y el cilindro queda completamente lleno de aire. (Motorkote, 2022).

2.5.3. Compresión. 2º tiempo.

Las válvulas están cerradas, el pistón sube desde el PMI hasta el PMS. Se comprime el aire, según la relación de compresión del motor, entre 14 y 22 veces el volumen de la cámara de combustión. Con esta elevada compresión se obtiene una alta temperatura capaz de inflamar

el combustible (600-650 °C). La energía necesaria para la compresión es aportada por el volante de inercia.

2.5.4. Combustión y expansión. 3° tiempo.

En el PMS el combustible se inyecta finamente pulverizado, se mezcla con el aire y se inflama de forma inmediata.

La combustión se prolonga mientras dura la inyección, en este tiempo el pistón avanza. El incremento de volumen en el cilindro va emparejado al aumento de la temperatura, esto hace que el valor de la presión no varíe mientras se realiza la combustión.

Una vez terminada la inyección el pistón continúa descendiendo hasta el PMI produciéndose la expansión de los gases. Esta es la carrera motriz, la única que aporta trabajo al ciclo.

2.5.5. Escape. 4° tiempo.

La válvula de escape se abre en el PMI, la presión residual existente dentro del cilindro expulsa los gases quemados, la presión y la temperatura bajan rápidamente. El resto de estos gases son barridos por el pistón en su ascenso. Cuando el pistón llega al PMS la válvula de escape se cierra. (Motorkote, 2022)

El pistón desciende en admisión y el ciclo se repite.

2.6. Diagrama del ciclo teórico del motor diésel

El diagrama de trabajo permite seguir la evolución de la presión y el volumen dentro del cilindro en el transcurso de los cuatro tiempos del ciclo teórico del motor diésel.

- ✓ **Admisión: 1-2.** En el PMS la válvula de admisión se abre y el pistón desciende en admisión (figura 3.6) el cilindro se llena con aire a la presión atmosférica (isóbara). En el PMI se cierra la válvula de admisión. (Draghi & Filgueira, 2015)

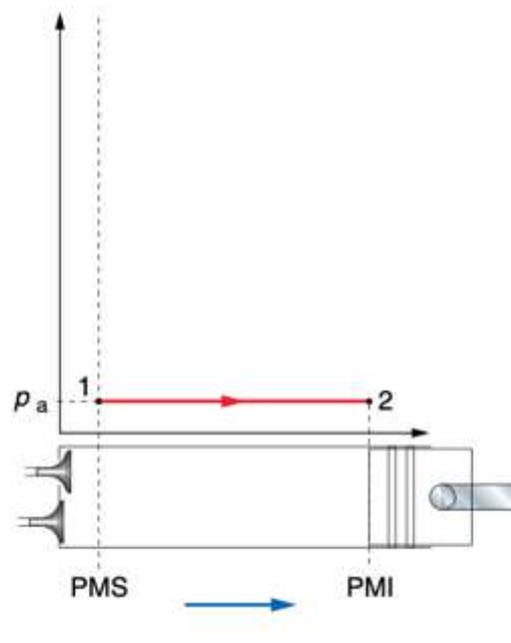


Figura 9. Admisión de aire.

Fuente: (Santiago Sanz, 2007)

- ✓ **Compresión: 2-3.** Las válvulas de admisión y escape están cerradas, el cilindro se encuentra lleno de aire a presión atmosférica (P_a), el pistón se desplaza del PMI al PMS, el aire queda comprimido a la presión (P_2). Debido a que sólo se comprime aire es posible obtener presiones muy elevadas. El aumento de presión eleva la temperatura del aire (adiabática 2-3). (Draghi & Filgueira, 2015)

La compresión requiere un aporte de energía (trabajo negativo).

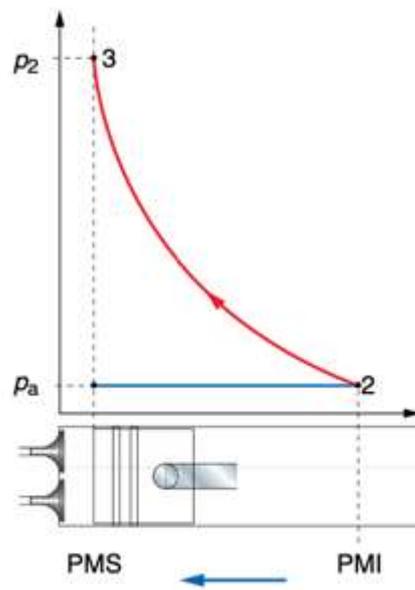


Figura 10. Compresión.

Fuente: (Santiago Sanz, 2007)

- ✓ **Combustión: 3-4.** El pistón se encuentra en el PMS, comienza la inyección y simultáneamente la combustión. El calor liberado durante la combustión es aportado mientras el pistón desciende, de manera que la presión se mantiene constante (isóbara 3-4).

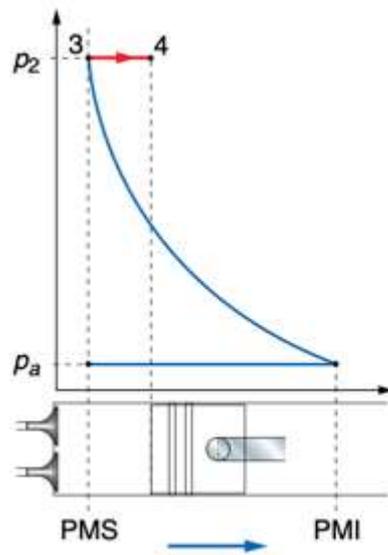


Figura 11. Combustión.

Fuente: (Santiago Sanz, 2007)

- ✓ **Expansión: 4-5.** En el punto 4 ha terminado la combustión, el pistón continúa descendiendo y la presión pasa de P_2 a P_1 . La expansión de los gases genera un trabajo positivo. Esta carrera se supone adiabática.

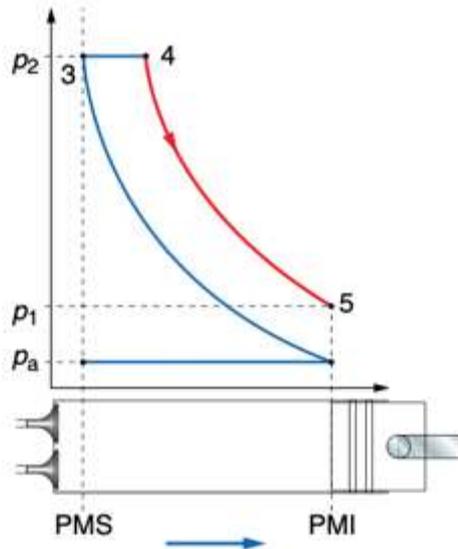


Figura 12. Expansión.

Fuente: (Santiago Sanz, 2007)

- ✓ **Principio de escape: 5-6.** El interior del cilindro se encuentra a la presión (P_1) el pistón está en el PMI y se abre la válvula de escape, la presión desciende instantáneamente hasta la presión atmosférica (P_a). El calor residual que no ha sido convertido en trabajo se evacua al exterior. La sustracción de calor (5-6) en teoría es isócara (a volumen constante).
- ✓ **Expulsión de los gases: 6-1.** El pistón se desplaza desde el PMI al PMS expulsando los gases quemados, la presión atmosférica se mantiene durante toda la carrera (isóbara 6-1). La válvula de escape se cierra cuando el pistón llega al PMS.

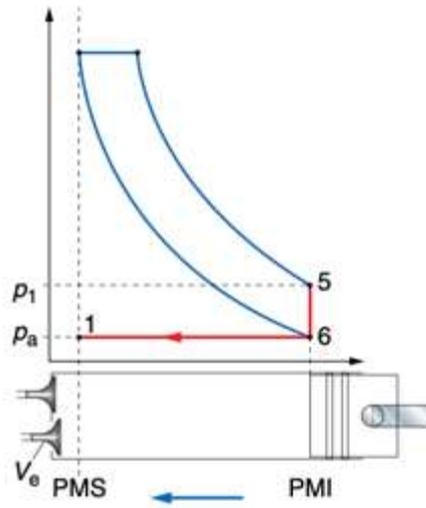


Figura 13. Escape.

Fuente: (Santiago Sanz, 2007)

- Las carreras de admisión y de escape en teoría se realizan ambas a presión atmosférica y no intervienen en el rendimiento del ciclo.
- La carrera de compresión (2-3) y la de expansión (4-5) se suponen adiabáticas, es decir, sin intercambio de calor.
- La aportación de calor (Q_1) mediante la combustión (3-4) se realiza a presión constante.
- ✓ La sustracción de calor (Q_2) en la apertura de la válvula de escape (5-2) se supone isócara. Es decir, la presión varía de forma instantánea, mientras el volumen permanece constante. (Draghi & Filgueira, 2015).

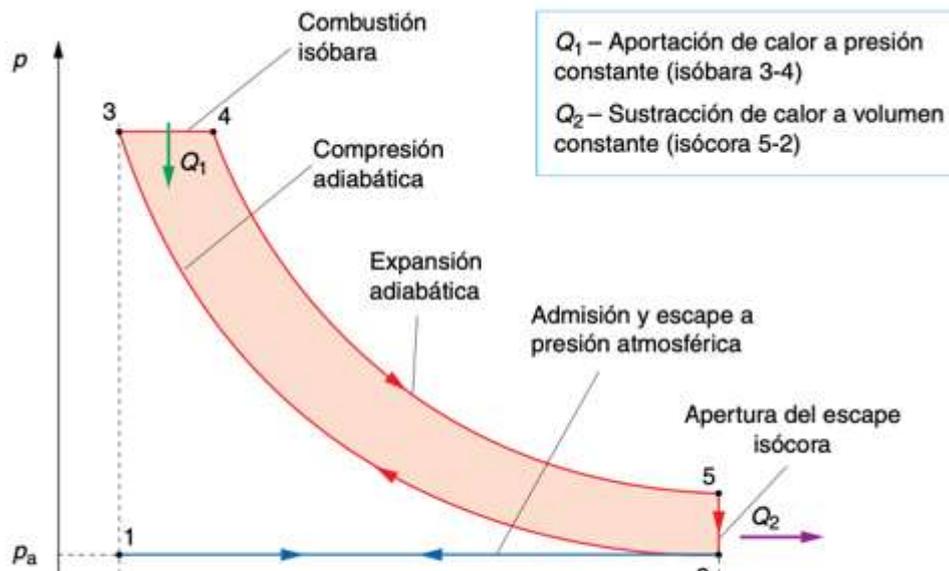


Figura 14. Evoluciones teóricas del diagrama de trabajo diésel.

Fuente: (Santiago Sanz, 2007)

2.7. Ciclo práctico del motor diésel de cuatro tiempos

El ciclo práctico del motor diésel describe el proceso real de funcionamiento del motor, las condiciones en las que se desarrolla este ciclo presentan importantes diferencias con el teórico y se representan en el diagrama del ciclo real.

2.7.1. Diagrama del ciclo real

Admisión: 1-2. Cuando el pistón pasa por el PMS la válvula de admisión ya está abierta debido al avance de la apertura de admisión. El pistón desciende hasta el PMI manteniendo una presión por debajo de la atmosférica en el interior del cilindro, debido a las pérdidas de carga. Cuando comienza a subir, la válvula de admisión aún permanece abierta un instante con el fin de aprovechar la velocidad de entrada que ha adquirido el aire. Superado el PMI la válvula se cierra y comienza la compresión.

Compresión: 2-3. Las dos válvulas están cerradas, el pistón asciende comprimiendo el aire que se encuentra dentro del cilindro hasta la presión (P_c). La compresión no es adiabática, existe intercambio de calor a través de las paredes del cilindro.

Inyección y combustión: 3-4. La inyección comienza en el punto 3, cuando el pistón sube en compresión. El incremento de presión no es instantáneo, se necesita tiempo para que se inicie la combustión y se libere el calor. Este tiempo se compensa adelantando el momento de la inyección (A_I).

En una primera fase se produce una subida muy rápida de la presión, pero no se realiza a volumen constante ya que el pistón efectúa un pequeño recorrido desde el punto 3 hasta el PMS. En una segunda fase el pistón comienza a descender, la combustión continúa hasta el punto 4, en este recorrido la presión no se mantiene constante.

Expansión: 4-5. El pistón desciende en la carrera de trabajo, esta carrera no es adiabática ya que parte del calor es evacuado al sistema de refrigeración a través de las paredes del cilindro. La carrera de expansión termina en el punto 5, cuando se abre la válvula de escape, antes de que el pistón llegue al PMI.

Principio de escape: 5-6. En el punto 5 el interior del cilindro se encuentra a la presión (P_3), para evacuar esta presión residual se hace necesario un avance en la apertura del escape (A_{AE}). Durante este tiempo el pistón hace el recorrido (5-6). La caída de la presión y por tanto la sustracción de calor no se realiza a volumen constante (no isócara).

Expulsión de los gases: 6-1. La presión ya ha descendido en el interior del cilindro y el pistón comienza a subir desde el PMI; los gases quemados son expulsados al exterior mientras se mantiene una presión ligeramente superior a la atmosférica. La válvula de escape se cierra después de que el pistón haya pasado el PMS, con el fin de aprovechar la velocidad de salida de los gases y mejorar su evacuación. (Draghi & Filgueira, 2015).

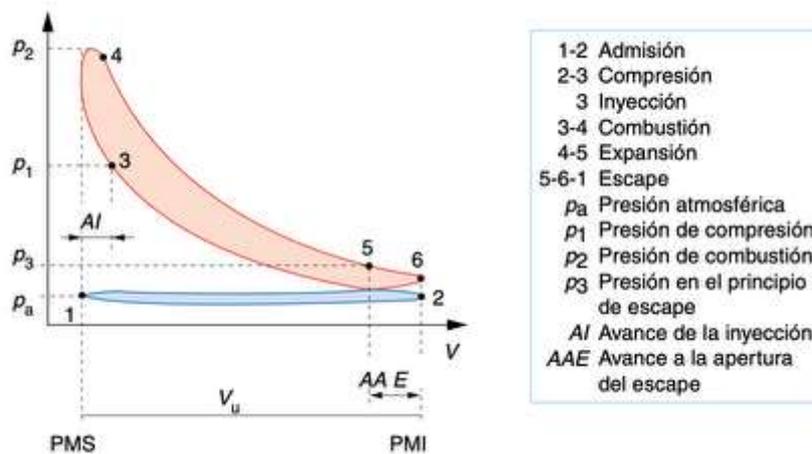


Figura 15. Diagrama real del ciclo diésel.

Fuente: (Santiago Sanz, 2007)

El ciclo práctico tiene un rendimiento menor que el teórico debido a las pérdidas que se producen en el funcionamiento real del motor.

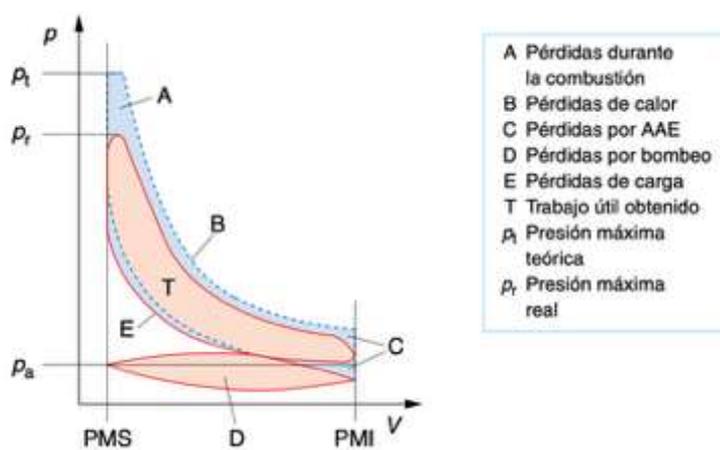


Figura 16. Pérdidas en el diagrama de trabajo.

Fuente: (Santiago Sanz, 2007)

- Pérdidas por bombeo (D) debidas al trabajo negativo que supone la carga y evacuación de los gases en el cilindro.
- Pérdidas causadas por el desplazamiento del pistón durante la combustión (A).
- Pérdidas por la evacuación de calor al sistema de refrigeración (B).
- Pérdidas por el tiempo empleado en la evacuación de calor en la apertura del escape (C).
- Pérdidas de presión por el llenado defectuoso en admisión (E).

2.8. Compresión y combustión

El rendimiento que se obtiene en el motor diésel está en función de la eficacia con que realiza la transformación de la energía propia de los motores térmicos, de calor en trabajo. En esta transformación los factores que influyen de manera más decisiva son: la relación de compresión, la presión y temperatura que se alcanzan en la combustión y la forma en que esta se desarrolla.

2.8.1. Compresión

El combustible se inflama por contacto con el aire caliente, lo que requiere un alto grado de compresión para elevar suficientemente la temperatura.

En el motor diésel se comprime sólo aire por lo que admite niveles altos de compresión, esto supone un aumento de temperatura que mejora las condiciones para realizar la mezcla ya que el aire transmite mayor cantidad de calor al combustible cuando es inyectado, y por tanto la inflamación es más rápida y la combustión más completa.

Relación de compresión	Temperatura °C	Presión de compresión
12	665	27
14	700	33
16	731	40
18	759	46
20	786	54
22	810	60

El rendimiento térmico que se obtiene en función de la relación de compresión puede calcularse aplicando la misma expresión que en los motores Otto, con la diferencia de que el coeficiente de modificación de los gases (γ), para motores diésel cambia su valor debido a que se comprime solamente aire:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{R_c^{\gamma-1}}$$

- η_t = rendimiento térmico
- R_c = relación de compresión
- γ = coeficiente de modificación de los gases, cuyo valor es 1,4 para motores diesel

Las presiones alcanzadas al final de la compresión oscilan entre 30 y 60 bares dependiendo del tipo de motor. (Santiago Sanz, 2007).

En motores de inyección directa los valores medios de relación de compresión están entre 16/1 y 19 / 1.

En motores con cámara auxiliar (inyección indirecta) se usan relaciones de compresión entre 20 / 1 y 23 / 1.

El empleo de relaciones de compresión superiores en los motores de inyección indirecta tiene su explicación en la necesidad de compensar la caída de presión que se produce cuando el aire es obligado a pasar a través de los estrechos conductos que comunican la precámara con la cámara principal.

Relaciones de compresión superiores no son aconsejables ya que plantean problemas mecánicos como la estanqueidad entre pistón y cilindro, además de que el trabajo que se aporta para conseguir más presión no compensa el aumento de rendimiento que se obtiene.

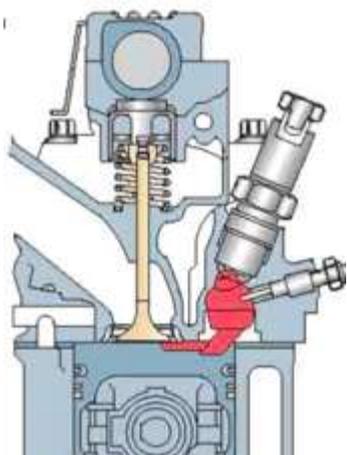


Figura 18. Diésel de inyección indirecta.

Fuente: (Santiago Sanz, 2007)

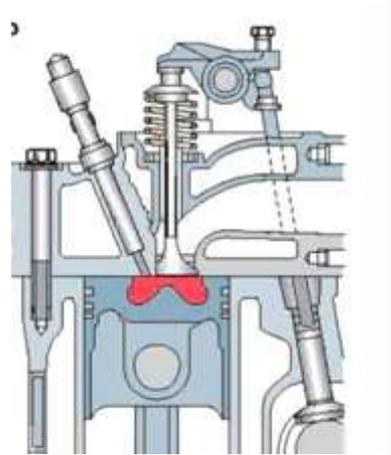


Figura 17. Diésel de inyección directa.

Fuente: (Santiago Sanz, 2007)

2.9. Combustión

El combustible es inyectado en la cámara de combustión, donde la presión y temperatura son muy altas, pero no se inflama instantáneamente, sino que antes tiene que mezclarse con el aire y adquirir la temperatura suficiente.

Las condiciones necesarias para conseguir una combustión completa son:

- Alta temperatura al final de la compresión.
- Gran turbulencia en el aire comprimido.
- Buena pulverización del combustible inyectado.
- Suficiente oxígeno para quemar todo el combustible inyectado.

El proceso de combustión se puede dividir en tres fases para su estudio.

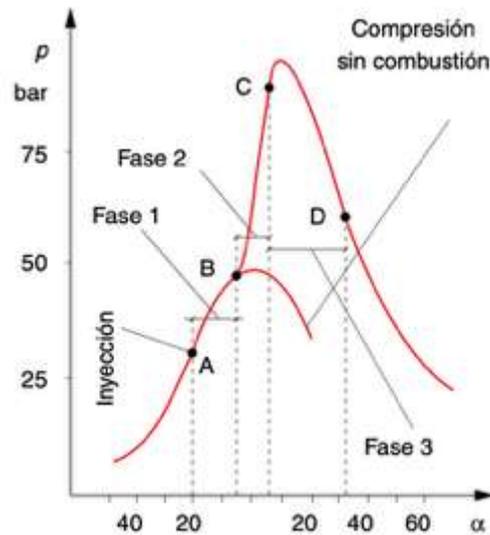


Figura 19. Desarrollo de la combustión.

Fuente: (Santiago Sanz, 2007)

Fase 1. El comienzo de la inyección se produce con cierto avance respecto del PMS. Las primeras gotas de combustible introducidas (A) se calientan, se vaporizan y reaccionan con el oxígeno del aire comenzando a arder, esta combustión inicial eleva la temperatura lo suficiente para gasificar el combustible que continúa entrando, pero aún no se ha inflamado.

Durante cierto tiempo se acumula una cantidad de combustible que se encuentra bien mezclada con el aire. Entonces se produce la combustión (B).

El tiempo que transcurre entre el principio de la inyección y el encendido de la mezcla acumulada se denomina retraso del encendido (AB).

Fase 2. Se quema la parte de combustible acumulada durante el retraso (C), la velocidad de combustión es muy alta, produciéndose una brusca subida de presión (70 a 90 bar). Este es el origen del ruido y la marcha dura característica de los motores diésel.

Fase 3. La temperatura ahora es muy alta dentro del cilindro, la inyección continúa y el combustible, que sigue entrando, se mezcla con el resto del oxígeno y se quema progresivamente hasta el final de la inyección (D), a partir de este momento se quema la última cantidad de combustible inyectado finalizando la combustión. La velocidad de combustión dependerá de las características de la inyección como el caudal, la presión y la forma del chorro.

El avance a la inyección compensa el retraso del encendido, de tal forma que cuando la combustión genere los máximos valores de presión, el pistón se encuentre en las proximidades del PMS, comenzando a descender. El sistema regula el momento de la inyección en función del número de revoluciones y la carga del motor.

El motor diésel obtiene un buen rendimiento con un bajo consumo debido a su alta relación de compresión, y a las elevadas presiones obtenidas en la combustión, logrando un mejor aprovechamiento de la energía térmica del combustible.

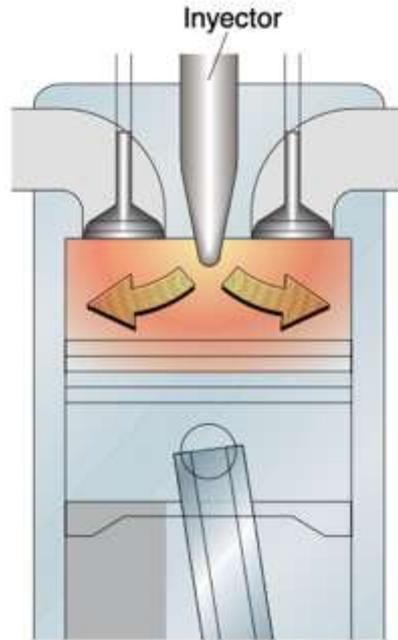


Figura 20. Inyección del combustible.

Fuente: (Santiago Sanz, 2007)

2.10. Intercambio de gases

Los motores diésel disponen de las cotas de distribución cuyo fin es mejorar el llenado de los cilindros y la evacuación de los gases residuales de la combustión, los gases quemados no contienen oxígeno por lo que interesa su total evacuación dejando espacio disponible para ser ocupado por el aire puro. El diagrama de distribución es muy similar en ambos motores. La válvula de escape abre antes de que el pistón llegue el PMI (AAE) para descargar con rapidez la presión residual al final de la expansión.

Con el retraso en el cierre del escape (RCE) se aprovecha la inercia adquirida por los gases para mejorar su evacuación. La válvula de admisión abre antes de que el pistón llegue al PMS (AAA) para que la velocidad de salida de los gases de escape arrastre a los de admisión venciendo su inercia.

El retraso en el cierre de admisión (RCA) consigue que los gases sigan entrando en el cilindro por la velocidad que aún conservan al final de la admisión.

Los motores Diesel rápidos sobrealimentados tienen menores ángulos en el AAA y en el RCE debido a que la entrada de aire en el cilindro es forzada y la inercia del gas en estos casos tiene menos importancia para el llenado. En algunos casos estas cotas son negativas.

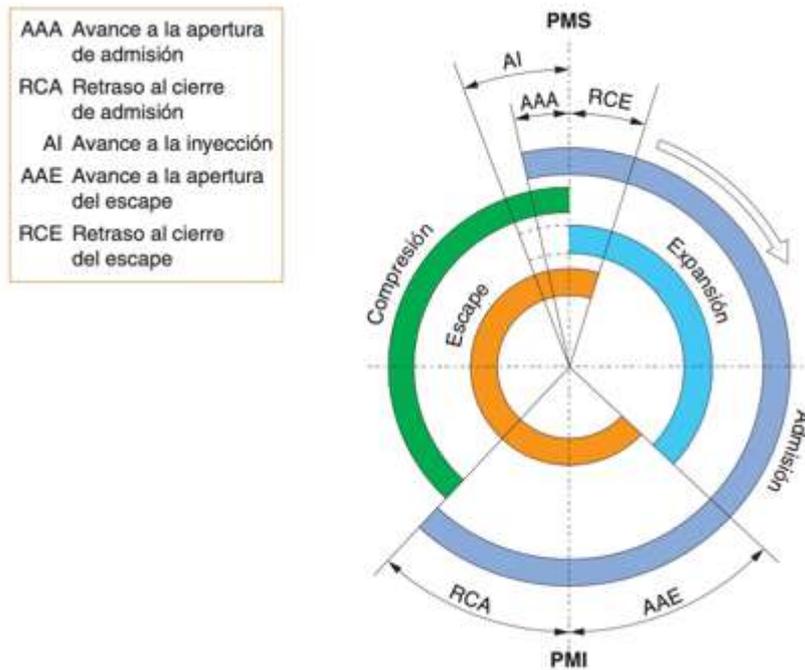


Figura 21. Diagrama de distribución diésel.

Fuente: (Santiago Sanz, 2007)

2.11. Sobrealimentación

En los motores diésel está muy extendido el empleo de la sobrealimentación ya que mejora el rendimiento y aumenta la potencia manteniendo la misma cilindrada.

Este método consiste en forzar la entrada de aire en el cilindro, para lo cual se monta un dispositivo en el conducto de admisión que comprime el aire antes de introducirlo, con lo que se logra aumentar la masa de aire admitida para un mismo volumen, y por consiguiente puede aumentarse también la cantidad de combustible que es posible quemar en cada ciclo.

En estos motores se hace necesario rebajar la relación de compresión con el fin de que no aumente en exceso la presión final de compresión, pero sí la presión media efectiva que actúa sobre el pistón, obteniéndose así una mayor curva de par para el motor y mayor potencia.

2.11.1 El turbocompresor

El sistema más utilizado de sobrealimentación en los motores diésel de 4 tiempos para automoción es el turbocompresor.

Este dispositivo aprovecha la velocidad de salida de los gases de escape para hacer girar una turbina (A), acoplada en el extremo de un eje, en el otro extremo, se monta el compresor centrífugo (B) que eleva la presión del aire en el conducto de admisión.

Para hacer girar el compresor se utiliza la energía residual de los gases de escape, por lo que no absorbe potencia del motor.

La presión obtenida varía con el régimen del motor, de tal forma que el turbo no empieza a soplar hasta superar un determinado número de revoluciones, sin embargo, con altos regímenes se hace necesario limitar la presión mediante una válvula reguladora (2).

La presión hace que aumente la temperatura del aire ocupando mayor volumen, en estas condiciones empeora el llenado. Este inconveniente se soluciona disponiendo un intercambiador de calor (3) que refrigera el aire después de su paso por el turbocompresor y antes de ser admitido en el cilindro. (Chindon Livisaca & Palaguachi Sumba, 2011).

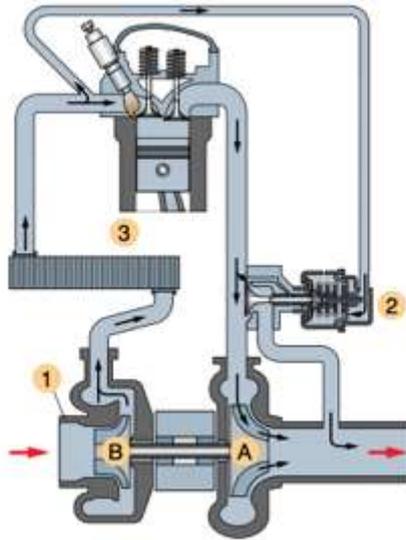


Figura 22. Sobrealimentación por turbocompresor.

Fuente: (Santiago Sanz, 2007)

2.11.2 Ventajas que se obtienen en los motores diésel sobrealimentados

En los motores diésel lentos de grandes cilindradas, la sobrealimentación mejora el proceso de intercambio de gases y proporciona aire en cantidad suficiente para quemar el gran volumen de combustible que se inyecta, sobre todo con cargas altas.

En los motores diésel rápidos, con cilindradas más moderadas, interesa obtener una buena relación peso potencia. La sobrealimentación unida al alto régimen de giro que alcanzan hace que estos motores obtengan muy buen rendimiento con un bajo consumo, por lo que son cada vez más empleados en turismos. (Generator, 2024)

2.12. Tipos de motores diésel de cuatro tiempos

Desde sus comienzos, el motor diésel se ha empleado en vehículos pesados dadas sus características de funcionamiento duro y ruidoso, pero con un bajo consumo. Su aplicación en turismos fue posible gracias al diseño de cámaras de combustión auxiliar que suavizan el funcionamiento del motor, aunque su consumo aumenta.

Los actuales diésels rápidos de inyección directa, además de suave funcionamiento y alto rendimiento, tiene un bajo consumo, esto justifica que estén sustituyendo a los de cámara auxiliar.

2.12.1. Diésel lento de inyección directa

Son motores de medianas y grandes cilindradas comprendidas entre 3.000 y 18.000 cm^3 , tienen volúmenes unitarios de hasta 2 litros por cilindro y giran entre 900 y 2.500 rpm.

El combustible es inyectado directamente en la cámara practicada sobre la cabeza del pistón. Se utilizan inyectores de varios orificios con presiones de inyección de 150 a 250 bares (superior a 1.000 bares en los motores actuales). Tienen un funcionamiento duro y ruidoso debido principalmente a su retraso en el comienzo de la combustión, es decir, el tiempo que transcurre desde que el combustible empieza a ser inyectado hasta que comienza su inflamación.

En este tiempo se acumula cierta cantidad de combustible que después se inflama de forma violenta, lo que provoca una subida brusca de la presión dando lugar a vibraciones que se transmiten a la carrocería.

Estos motores tienen aplicación en vehículos industriales: camiones, maquinaria de obras públicas o tractores, donde su funcionamiento brusco no tiene importancia, sin embargo, son apreciados por su reducido consumo de combustible.

2.12.2. Diésel rápido de inyección directa

Son motores de pequeña y mediana cilindrada (hasta 3.500 cm^3) con volúmenes unitarios de 0,4 a 0,6 litros. Pueden superar las 4.500 revoluciones y entregan su par máximo entre 1.800 y 2.500 revoluciones. El consumo de combustible se reduce considerablemente con respecto al diésel de inyección indirecta.

El paso de aire por el conducto de admisión le imprime un movimiento espiroidal, de tal forma que la masa gaseosa entra en el cilindro ya con un fuerte movimiento giratorio. Durante la compresión la cámara toroidal practicada en el pistón intensifica la turbulencia.

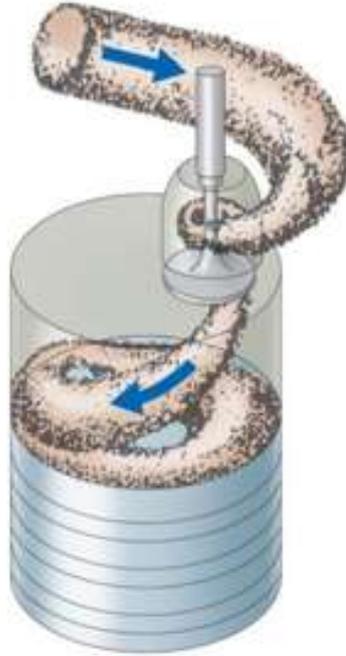


Figura 23. Turbulencia de admisión.

Fuente: (Santiago Sanz, 2007)

El inyector de 4 o 5 orificios inyecta en dos etapas, una preinyección a unos 250 bares y la inyección principal que puede superar los 1.000 bares de presión.

La preinyección de una pequeña cantidad de combustible inicia la combustión de forma suave y crea las condiciones para la inflamación del resto de combustible inyectado en la segunda fase. La alta presión de inyección pulveriza finamente el combustible que penetra rápidamente en el aire comprimido, el resultado es una combustión progresiva sin aumentos bruscos de presión

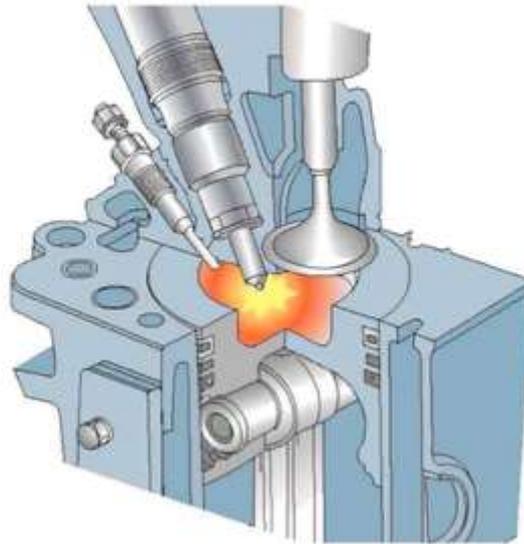


Figura 24. Diésel rápido de inyección directa.

Fuente: (Santiago Sanz, 2007)

2.12.3. Diésel rápido de inyección indirecta

El inyector se sitúa dentro de una cámara auxiliar donde se produce una gran turbulencia de aire en la compresión. La inyección inicia la combustión que se traslada a través de unos conductos, haciendo que se aplique sobre la cabeza del pistón de forma progresiva. Se utilizan inyectores de un solo orificio que inyectan a presiones de 100 a 140 bares.

El funcionamiento que se obtiene en este motor es suave y con un bajo nivel sonoro. Por contra, el consumo específico de combustible es mayor que en los de inyección directa y se precisan bujías de calentamiento para el arranque en frío. Se emplean en turismos y en vehículos industriales ligeros.

Los diésel de inyección indirecta están siendo sustituidos por los diésel rápidos de inyección directa debido a que ofrecen mayor rendimiento, menor consumo y son menos contaminantes. (Astrid Dinora, 2021)

CAPÍTULO II: DIAGNÓSTICO DEL MOTOR

3. Diagnóstico técnico del motor, selección, diseño y construcción de sus elementos

3.1. Inspección visual

Inspección visual de posibles pérdidas en el sistema de refrigeración como mangueras, intercambiador de calor y sistema de combustible. Rastros de oxidación o corrosión en colectores, conexiones y zonas expuestas a la intemperie.

3.1.1. Escape del motor con oxidación.

Presencia de oxidación en la brida y de carboncillo en la salida del escape del motor. Se realizó la limpieza de oxidación y descarbonización del sistema de escape.



Figura 25. Oxido y carboncillo en el escape.

Fuente: Propia



3.1.2. Cable positivo de batería cuarteado.

Rotura del capuchón, dejando expuesto el conductor del cable positivo de conexión a la batería. Cambio de nuevos conductores de alimentación de batería.



Figura 26. Cable positivo de la conexión de batería deteriorado
Fuente: Propia

3.1.3. Alternador con presencia de óxido.

Presencia de óxido en la carcasa externa del alternador y componentes metálicos expuestos.



Figura 27. Se reemplazo los rodamientos del alternador
Fuente: Propia

3.1.4. Depósito de refrigerante (agua dulce) con oxidación.

Inspección del nivel de refrigerante, demostrando niveles muy bajos y presencia de oxidación en el sistema de refrigeración. Limpieza del sistema y suministrar un refrigerante adecuado para el motor Yanmar.



Figura 28. Se agregó refrigerante (nombre del refrigerante)
Fuente: Propia

3.1.5. Mangueras de combustible fragmentadas.

Mangueras del sistema de combustible en mal estado y cambio de mangueras para evitar fugas de combustible. Garantizando una adecuada alimentación del sistema de combustible.



Figura 29. Se reemplazo todo el sistema de combustible, así como, el filtro de combustible
Fuente: Propia

3.1.6. Oxidación en la unión de brida-propela.

Presencia de oxidación en la brida que conecta el eje, propela y hélice. Limpieza de la presencia de oxidación y pintura para la brida.



Figura 30. El montaje de la propela y eje se desarrollará eventualmente.
Fuente: Propia

3.1.7. Inyectores con oxidación y carbonilla.

Inspección de inyectores, observando presencia de oxidación, humedad acumulación de carbonilla y posible obstrucción parcial.

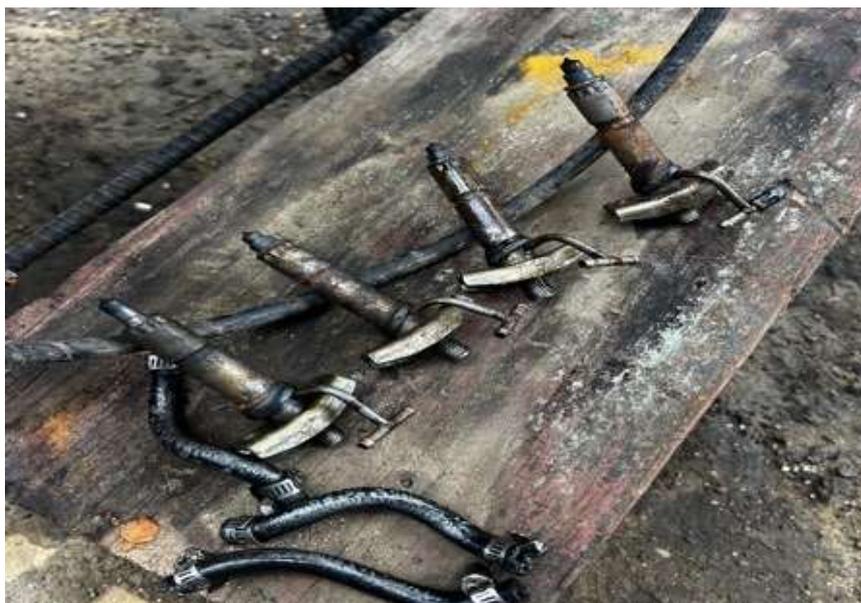


Figura 31. Se realizará un test en el banco de pruebas manual.
Fuente: Propia

3.1.8. Inyectores con hollín debido a una combustión incompleta.

Presencia de hollín, oxidación y humedad en inyectores. Se realizará un test en el banco de pruebas manual.



Figura 32. Los 4 inyectores tenían el mismo problema mencionado.
Fuente: Propia

3.2. Inspección predictiva en la cámara de combustión mediante el boroscopio.



Figura 33. Inspección visual interna mediante boroscopio (a través del alojamiento de los inyectores).
Fuente: Propia

3.2.1. Visualización del pistón #1 con picadura.

Cabeza de pistón con leve depósito de carbonilla. Se realizará el desmontaje del pistón para una descarbonización de los elementos.



Figura 34. Inspección interna mediante la cámara del boroscopio
Fuente: Propia

3.2.2. Visualización de ralladuras en el pistón #2.

Camisa sin presencia de ralladuras profundas, sin pérdida de material visible (pistón 1 y 2).



Figura 35. Inspección interna mediante la cámara del boroscopio
Fuente: Propia

3.2.3. Camisa #3 con fuga de combustible.

Camisa con presencia de humedad de posibles fugas de combustible. Revisión de la pulverización del inyector #3.



Figura 36. Inspección interna mediante la cámara del boroscopio
Fuente: Propia

3.2.4. Cabeza de pistón #4 con carbonilla.

Cabeza de pistón con leve depósito de carbonilla (cilindro 4). Desmontaje del pistón para una descarbonización de los elementos.



Figura 37. Inspección interna mediante la cámara del boroscopio
Fuente: Propia

3.3.Inspección predictiva con cámara termográfica

3.3.1. Visualización de calor en el área del cárter (30 minutos de operación del motor).



Figura 38. Irradiación de calor del cárter en 80.9 °C. La temperatura está dentro del rango de operación.

Fuente: Propia

3.3.2. Visualización de temperatura en el escape del motor (30 minutos de operación).



Figura 39. Temperatura del escape en 71.8 °C. La temperatura está dentro del rango de operación.

Fuente: Propia

3.3.3. Representación de temperatura de la bomba de combustible.



Figura 40. Temperatura de 72.2 °C en la bomba de combustible. La temperatura está dentro del rango de operación.
Fuente: Propia

3.3.4. Temperatura de la bomba de inyección



Figura 41. Temperatura de 79.9 °C en la bomba de inyección. La temperatura está dentro del rango de operación.
Fuente: Propia

3.4 Desarme del motor Diésel.

3.4.1. Desarme de la tapa de culata.

Empaques de la culata en mal estado. Se realizará el cambio del empaque



Figura 42. Tapa de cabezote
Fuente: Propia

3.4.2. Árbol de levas y balancines.

Culata del motor con oxidación en el árbol de levas y balancines. Remoción de oxidación y depósitos.



Figura 43. La oxidación del árbol de levas y balancines se debe a que el motor estuvo sin funcionamiento durante un largo periodo
Fuente: Propia

3.4.3. Visualización más detallada de la oxidación de los balancines.

Oxidación de balancines. Remoción de oxidación y depósitos.



Figura 44. La oxidación del árbol de levas y balancines se debe a que el motor estuvo sin funcionamiento durante un largo periodo

Fuente: Propia

3.4.4. Muelles de la culata

Varilla empujadoras, muelles y válvulas de admisión y escape se encontraban en óptimas condiciones.



Figura 45. Muelles de la culata.

Fuente: Propia

3.4.5. Mangueras de inyección de combustible agrietadas.

Manguera de inyección agrietadas. Cambio de nuevas mangueras para garantizar la alimentación de combustible en inyectores y evitar fugas de combustible mejorando el consumo.



Figura 46. Se observó que existía fuga de combustible en las mangueras de inyección
Fuente: Propia

3.4.6. Pernos de cabezote fragmentado debido a un mal torque de ajuste.



Figura 47. Varios pernos presentan fracturas durante el desmontaje del cabezote.
Fuente: Propia

3.4.7. Empaque del block desgastado

Junta de culata con evidencia de pérdida de estanqueidad. Se realizará el cambio de la junta para garantizar la estanqueidad entre culata y el bloque del motor. El empaque se deterioró debido a que el motor estuvo funcionando sin que el sistema de refrigeración estuviera operativo.



Figura 48. Junta del block deteriorado
Fuente: Propia

3.5.Desarme del cárter

3.5.1. Residuos de lodo y hollín en el fondo del cárter.

El aceite perdió sus propiedades lubricantes, refrigerantes y anticorrosivas, lo que lleva la acumulación de suciedad en el cárter, debido a esto el filtro de aceite se tapó y se reemplazó.



Figura 49. Residuos de lodo y hollín en el cárter. Limpieza del cárter para suministrar nuevo aceite.
Fuente: Propia

3.5.2. Sello de bronce perforados (sistema de refrigeración).

Sellos de bronce perforados. Se realizará el cambio de los sellos del sistema de refrigeración para asegurar su estanqueidad.



Figura 50. Sellos de bronce tipo copa
Fuente: Propia

3.5.3. Desarme del balancador de cigüeñal.



Figura 51. Balancador de cigüeñal en óptimas condiciones. Se realizará limpieza.
Fuente: Propia

3.6.Desarme del block

3.6.1. Camisa del block #1

La presencia de hollín y carbonización en la camisa del motor se debió a los siguientes puntos:

1. Inyectores con hollín, provocando un mal atomizado del combustible.
2. Desgaste en los segmentos del pistón.



Figura 52. Camisa de cilindro #1 con presencia de carbonización de aceite y hollín. Se cambiaron los segmentos del pistón #1.
Fuente: Propia

3.6.2. Camisa del block #2



Figura 53. Camisa de cilindro #2 con carbonilla debido a una combustión incompleta. Se realizará la descarbonización de la camisa.
Fuente: Propia

3.6.3. Desarme del pistón #4



Figura 54. Pistón, biela, bulón y segmentos #4 en buenas condiciones.
Fuente: Propia

3.6.4. Segmentos del pistón #4

3.6.4.1. Segmento de fuego



Figura 55. Segmento de fuego en óptimas condiciones del pistón #4.
Fuente: Propia

3.6.4.2. Segmento de compresión



Figura 56. Segmento de compresión en óptimas condiciones del pistón #4.
Fuente: Propia

3.6.4.3. Segmento de engrase



Figura 57. Segmento de lubricación en óptimas condiciones del pistón #4
Fuente: Propia

3.6.5. Cojinetes del cigüeñal con desgaste

Cojinetes con rayaduras debido a una falta de lubricación, se hizo el cambio de cojinetes respectivo.



Figura 58. Todos los cojinetes presentaban el mismo desgaste.
Fuente: Propia

3.7.Desarme de la bomba de agua

El impeler se encuentra totalmente deteriorado, como resultado de un exceso de temperatura y causada por la ausencia o bajo nivel de refrigerante. Se procederá al reemplazo del impeler y del empaque de la bomba de agua para restablecer el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración.



Figura 59. Impeler de la bomba marina totalmente fragmentado.
Fuente: Propia



Figura 60. Partes del impeler fragmentados.
Fuente: Propia

3.8.Desarme del turbocompresor



Figura 61. Sistema de admisión forzada íntegro.
Fuente: Propia



Figura 62. Desarme del sistema de admisión forzada.
Fuente: Propia

3.9.Carcasa de turbina

La presencia de hollín en la carcasa del turbocompresor se debe principalmente a la entrada de gases de escape con alto contenido de partículas de combustión incompleta.

Descarbonización de la carcasa del turbocompresor para garantizar una mayor admisión de aire y mejorar el rendimiento del motor.



Figura 63. Carcasa del turbocompresor con presencia de hollín.
Fuente: Propia



Figura 64. Presencia de hollín y depósitos de carbón
Fuente: Propia

3.9. Rueda compresora

Rueda compresora con hollín y suciedad. Al realizar la descarbonización garantizamos una eficiente en el consumo de combustible y reducción de emisiones contaminantes.



Figura 65. Rueda compresora con hollín y carboncillo debido a una combustión incompleta.
Fuente: Propia

3.9.1. Carcasa compresora

Durante la inspección de la carcasa del turbocompresor se detectó presencia de oxidación superficial. Se aplicará un recubrimiento protector anticorrosivo para garantizar su integridad y prolongar la vida útil del componente.



Figura 66. Visualización de la carcasa del turbocompresor.
Fuente: Propia

3.9.2. Eje de turbina del turbocompresor

El eje de la turbina presenta depósitos de hollín en el impeler, evidenciando combustión incompleta que afecta la eficiencia del turbo. Asimismo, se detecta rayadura en el eje, atribuible a deficiencia en la lubricación o contaminación en el circuito de aceite, lo cual compromete la alineación, incrementa el desgaste de cojinetes y reduce la vida útil del conjunto rotativo. Al descarbonizarlo garantizaremos una vida útil más larga para estos elementos.



Figura 68. Eje de la turbina con hollín en el impeler.
Fuente: Propia



Figura 67. Rayadura en el eje de la turbina.
Fuente: Propia

3.9.3. Partes desarmadas del turbocompresor

Durante la inspección se realizó el desensamble del turbocompresor, evidenciándose la disposición de sus componentes principales: carcasa de compresor, carcasa de turbina, conjunto eje impeler y tapas. La separación de las piezas verifica el estado individual de cada componente, identificando depósitos de hollín en la zona de la turbina, presencia de oxidación en las carcasas y desgaste localizado en el eje. Esta revisión es fundamental para determinar la necesidad de limpieza o reemplazo, garantizando la correcta operación y eficiencia del turbocompresor.



Figura 69. Visualización completa de las partes del sistema de admisión forzada.
Fuente: Propia

3.10. Desarme del alternador

3.10.1. Rotor del alternador

Cambio de rodamientos y mantenimiento del alternador



Figura 70. Rotor del alternador
Fuente: Propia

3.10.2. Estator del alternador.

Reemplazo de carbones para mejorar el rendimiento y la capacidad de carga eléctrica.



Figura 71. Estator del alternador
Fuente: Propia

4. Armado del motor

4.1. Colocación de los pistones en el bloque del motor



Figura 72. Colocación del pistón #1 con la faja de compresión de rines.
Fuente: Propia

4.2.Acoplamiento del pistón #1 y #4



Figura 73. Colocación del pistón #1 y #4 y el nuevo empate de culata para garantizar su estanqueidad entre block y culata.

Fuente: Propia

4.3. Instalación de balanceador de aceite

Acoplamiento de balanceador de cigüeñal en el cárter con su respectiva sincronización mecánica entre engranajes.



Figura 74. Acoplamiento de balanceador de cigüeñal
Fuente: Propia

4.4. Pintado e instalación del cárter



Figura 75. Pintado y colocación de empaque del cárter.
Fuente: Propia

4.5. Sellos de bronce tipo copa para el sistema de refrigeración



Figura 76. Instalación de nuevos sellos de bronce en el sistema de refrigeración de 23mm y 40mm.

Fuente: Propia

4.6. Colocación de sello de expansión en sistema de refrigeración



Figura 77. Colocación de los nuevos sellos de bronce en el sistema de refrigeración.

Fuente: Propia

4.7. Pintado de intercambiadores de calor, bloque, cabezote, motor de arranque, alternador, bomba de agua, etc.



Figura 78. Montaje de intercambiador de calor de la caja reductora, cambios de sellos para garantizar estanqueidad.

Fuente: Propia



Figura 79. Vista frontal del armado del intercambiador de calor.
Fuente: Propia



Figura 81. Pintado completo del motor Yanmar.
Fuente: Propia



Figura 80. Vista frontal del pintado y montaje.
Fuente: Propia

Mejora de seguridad operacional con la colocación de un tanque de combustible que se unifique con la base del motor.



Figura 82. Se reemplazo las mangueras de combustible del tanque hasta la inyección.
Fuente: Propia

4.8. Colocación de una base para la batería de 12V para el motor Yanmar

Se logro una mejora significativa en seguridad operacional con la colocación de bases para la batería y el tanque de combustible, también se modificó la distancia entre la línea del acelerador y cambios hacia los mandos de control, mejorando el espacio y con una presentación más estética para el motor en general.



Figura 83. Se coloco filtro de aire en el turbocompresor
Fuente: Propia

4.9. Colocación de mangueras de desfogue de aceite y refrigerante

Se implemento varias mangueras como la del desfogue de aceite hacia el turbocompresor y líneas del sistema de refrigeración con las que no contaba el motor al inicio del proyecto, mejorando su rendimiento.



Figura 84. Se cambio el filtro de aceite, así como, el aceite antiguo (SAE 15W40)
Fuente: Propia

4.10. Armado de la base de panel de control

Colocación de planchas de aluminio para crear una base para el mando de control así mejorando su seguridad operacional en el sistema eléctrico.



Figura 85. Montaje de la base del panel de control
Fuente: Propia

Prueba de encendido del motor, con los indicadores de presión de aceite y temperatura ya funcionales al intervenir el sistema eléctrico.



Figura 86. Sistema eléctrico operativo
Fuente: Propia

CAPÍTULO III: BANCO DE PRUEBAS

3. Implementación del banco de pruebas.

3.1. Pruebas de presión en los inyectores

La prueba en el video muestra que el inyector de combustible está en buen estado. Al bombear, se alcanza una presión de apertura de unos 30 MPa, y el combustible se atomiza en un patrón de pulverización fino y uniforme. Esto indica que el inyector está funcionando correctamente y que no está obstruido o dañado, lo cual es vital para una combustión eficiente del motor. Todos los inyectores alcanzan la misma presión y buena atomización del combustible.

Pruebas al Motor Yanmar 4JH-DTYE



Figura 87. Prueba de presión y atomización del inyector #1.
Fuente: Propia

Inyector de la cámara de combustión #2

Pruebas al Motor Yanmar 4JH-DTYE



Figura 88. Prueba de presión y atomización del inyector #2.
Fuente: Propia

Inyector de la cámara de combustión #3

Pruebas al Motor Yanmar 4JH-DTYE



Figura 89. Prueba de presión y atomización del inyector #3.
Fuente: Propia

Inyector de la cámara de combustión #4

Pruebas al Motor Yanmar 4JH-DTYE



Figura 90. Prueba de presión al inyector #4.
Fuente: Propia

4.1.Ensayos y pruebas

4.2.Prueba de encendido del motor.

Hacer clic en el siguiente enlace: [Pruebas al Motor Yanmar 4JH-DTYE](#)



Figura 91. Prueba de encendido del motor Yanmar.
Fuente: Propia

4.3.Prueba de encendido #2 del motor Yanmar

Hacer clic en el siguiente enlace: [Pruebas al Motor Yanmar 4JH-DTYE](#)



Figura 92. Prueba de encendido #2 del motor Yanmar.
Fuente: Propia

4.4. Entrega del motor Yanmar 4JH-DTYE a la facultad de Ingeniería Marítima



Figura 93. Entrega del motor Yanmar en el taller de motores.
Fuente: Propia



Figura 94. Vista isométrica del motor Yanmar 4JH-DTYE.
Fuente: Propia



Figura 95. Vista lateral izquierdo del motor Yanmar 4JH-DTYE.
Fuente: Propia



Figura 96. Vista frontal del motor Yanmar 4JH-DTYE.
Fuente: Propia

CONCLUSIONES

El desarrollo de este proyecto, que puede demostrar que la gestión integrada de mantenimiento basada en los principios de prevención, supervisión constante y cooperación es importante para mejorar la disponibilidad, la eficiencia y la seguridad del motor estudiado. El uso de mantenimiento preventivo efectivo, complementado por el sistema de control, facilitó la detección temprana de anomalías, lo que ayudó a reducir los errores operativos y optimizar la vida útil del equipo.

El motor también se optimizó mediante la regulación de sus parámetros operativos, lo que resultó en una reducción significativa en el consumo de combustible, las emisiones contaminantes y el desperdicio de desechos. Estos resultados reflejan no solo la mejora técnica sino también un compromiso con la sostenibilidad ambiental.

La participación activa de los estudiantes en el mantenimiento y el diagnóstico es el componente principal de la educación que promueve el desarrollo de habilidades técnicas, trabajo en equipo y cultura continua.

Por otro lado, la introducción de un sistema de retroalimentación analizando la experiencia obtenida durante el proyecto, generando ajustes estratégicos basados en evidencia. Este enfoque dinámico respaldó el desarrollo constante del sistema de mantenimiento y la toma de decisiones informadas.

Finalmente, el riesgo relacionado con el motor se identificó, regularmente y se redujo utilizando prácticas de seguridad y procedimientos de emergencia. Esto garantizó un entorno operativo seguro que protege la integridad de los equipos y los participantes.

RECOMENDACIONES

Precauciones de seguridad

El motor está diseñado para darle una seguridad y un servicio confiable si es operado de acuerdo con las instrucciones. Lea y comprenda el Manual del Usuario antes de operar el motor. El no hacerlo puede resultar en daños personales o daños en del equipo.

Advertencia

El motor está diseñado para darle una seguridad y un servicio confiable si es operado de acuerdo a las instrucciones. Lea y comprenda el Manual del Usuario antes de operar el motor. El no hacerlo puede resultar en daños personales o daños en del equipo.

El silenciador de escape se calienta mucho durante la operación y permanece caliente durante un tiempo después de que se ha detenido el motor. Evite tocar el silenciador mientras esté caliente. Deje enfriar el motor antes de almacenarlo.

Siempre realice una inspección de preoperación antes de encender el motor. Usted puede prevenir un accidente o daño al equipo.

Coloque en una superficie firme y nivelada para evitar que se vuelque el motor.

Para prevenir peligros de incendio y para proporcionar una ventilación adecuada, mantenga el equipo al menos 1 metro separado de paredes o de otro equipo durante su operación. No coloque objetos inflamables cerca de este.

Conozca cómo detener rápidamente el motor y comprenda la operación de todos los controles. Nunca permita que nadie opere la bomba sin las instrucciones debidas.

1. Calidad del combustible

Las especificaciones técnicas de desempeño para el motor diésel está basada en un tipo de combustible específico (el combustible base).

Especificaciones del gasóleo	Ubicación
ASTM D975 N° 2-D S15, N° 1-D S15	EE. UU.
EN590-2009	Unión Europea
ISO 8217 DMX	Internacional
BS 2869-A1 o A2	Reino Unido
JIS K2204 Grado N°2	Japón

2. Edad del combustible

El combustible diésel es más propenso a la oxidación que la gasolina. Nunca debe permanecer en almacenamiento por más de 12 meses. Deben hacerse los arreglos correspondientes ya sea para consumir el combustible o rotarlo al inventario de petróleo para el quemador

3. Limpieza

Los sistemas de inyección de combustible diésel dependen de ductos de flujo pequeños y de espacios libres muy reducidos. Ellos no pueden tolerar impurezas en el combustible. Esto significa que los filtros de combustible deben recibir mantenimiento de acuerdo con la programación publicada por los fabricantes.

Los filtros de aire son igualmente importantes para la longevidad de motor. Ellos actúan como trampa para retener los abrasivos antes de que puedan entrar en las cámaras de combustión del motor.

4. Composición del refrigerante

El refrigerante de motores por lo general es una mezcla de etileno o de anticongelante con base de glicol propileno y agua. El punto de congelación de la mezcla dependerá de la cantidad relativa de glicol usada. Es importante usar la mejor agua disponible mezclada con no más de un 60% de anticongelante con base de glicol etileno, o no más de un 50% de anticongelante con base de glicol propileno.

5. Lubricación

La lubricación del motor es quizás el elemento individual más importante de un buen programa de mantenimiento. El aceite del motor lubrica las partes móviles; proporciona protección contra la corrosión; absorbe y neutraliza los contaminantes; sirve como refrigerante; y es un sellador. A través de cambios regulares de aceite y filtros, el aceite remueve las materias extrañas del motor, mientras contribuye a la limpieza interior y minimiza el desgaste.

Aceite del motor Yanmar 4JH-DTYE: Se recomiendan las viscosidades de aceite SAE 10W-30 o SAE 15W40.

BIBLIOGRAFIA

- Amorelli, S. (2019, junio 1). *Historia del Mantenimiento y origen del TPM*. TPM Pro. <https://tpmpro.com/historia-del-mantenimiento-y-origen-del-tpm/>
- De mantenimiento que pueden ser aplicados, T., & organización., a. C. (s/f). *TIPOS DE MANTENIMIENTO*. Cmmshere.com. Recuperado el 20 de octubre de 2024, de <https://cmmshere.com/wp-content/uploads/2023/01/art-CMMShere-tipos-mantenimiento.pdf>
- ¿Qué es el mantenimiento productivo total (TPM)? (s/f). Recuperado el 20 de octubre de 2024, de <https://www.dimomaint.com/latam/guias/que-es-tpm/>
- Rosales, J. (2024, julio 11). Qué es el mantenimiento productivo Total (TPM) y cómo implementarlo. *Fractal.com*. <https://www.fractal.com/es/guias-mantenimiento/que-es-el-tpm-mantenimiento-productivo-total-y-como-implementarlo>
- Santos, P. G. (2024, febrero 12). *¿Qué es el Mantenimiento Productivo Total? Claves y Respuestas*. Envira. <https://envira.es/es/metodologia-tpm-mantenimiento-productivo-total/>
- Sistemas, O. E. E. (2016, mayo 11). *TPM: Total Productive Maintenance*. Sistemas OEE - Technology to Improve; Sistemas OEE. <https://www.sistemasoe.com/tpm/>
- (S/f). Cursosaula21.com. Recuperado el 19 de diciembre de 2024, de <https://www.cursosaula21.com/que-es-el-mantenimiento-productivo-total-tpm/#:~:text=El%20TPM%20es%20un%20concepto,el%20mantenimiento%20preventivo%20en%20Japón>
- Morales, E. I. C. (2013). *Estudio de un motor de combustión interna para determinar sus parámetros de funcionamiento y su factibilidad de aplicación en los laboratorios de la facultad de ingeniería civil y mecánica*. Universidad Técnica De Ambato

- Mora, P. D. L. (2010). *Medición y evaluación de los niveles de opacidad generados por los vehículos con motor de combustible diesel*. Universidad Internacional Del Ecuador.
- Roque, V. D. S. (2014). *Repotenciación de un motor diesel e implementación a un banco didáctico para el laboratorio de motores de la escuela de ingeniería automotriz de la ESPOCH*. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.
- Agudelo, Santamaría J. (2009) *Motores Diesel Turboalimentados* Universidad Antioquia, Colombia.
- Grinstein, D. (2008) Manual de inyección diesel, Editorial Alsina, Argentina.
- Kates, Edward J. & Luck, Wiliam (2009) Motores diesel y de gas de alta compresión, Editorial Reverte, España.
- Rolle, Kurt, (2008) Termodinámica, Prentice Hall, México.
- Tormos, Bernardo (2008) Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite utilizado, Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. NTE INEN 1489:2011. (2012) Requisitos del diesel.
- Marino, I. (2021, March 19). *Introducción al Circuito de Lubricación. MCIA (1ª Parte)*. Ingeniero Marino. <https://ingenieromarino.com/introduccion-al-circuito-de-lubricacion/>
- Marino, I. (2016, February 23). *Descripción del Circuito de Lubricación (MCIA)*. Ingeniero Marino. <https://ingenieromarino.com/circuito-de-lubricacion-mcia/>

Flores, O. R. (2020, May 7). *356855247-Caterpillar-3508B-3512B-3516B-Motores-de-Propulsion-Marina-Manual-de-Operacion-y-Mantenimiento-SSBU7844-02-Spanish*.

Cedinox. (2022). Obtenido de www.cedinox.es:
<https://www.cedinox.es/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/23.Tecnologas-de-depuracin-de-gases-de-escape-para-buques>.

Brain, M. (2021, febrero 12). *How diesel two-stroke engines work*. HowStuffWorks.
<https://auto.howstuffworks.com/diesel-two-stroke.htm>

Funcionamiento, D. y. (s/f). *El motor diesel de 2, 8 litros en el LT '97*. Automotrizenvideo.com.
Recuperado el 19 de diciembre de 2024, de <https://automotrizenvideo.com/wp-content/uploads/2011/11/VW-Autodidactico-motor-2.8-Diesel-Ano-97.pdf>

Programa autodidáctico 223 VW-AUDI. Motores TDI de 1,2 y 1,4 l

Heywood, J. B. (1988). *Internal combustion engine fundamentals*. New York, NY: McGraw-Hill Education.

Bosch GmbH. (2011). *Diesel-engine management: Systems and components* (4th ed.). Cambridge, MA: Bentley Publishers.

Crouse, M., Segerlind, C. L., & Luzadder, L. F. (2009). *Diesel engine and fuel system repair* (7th ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Bennett, S. (2014). *Modern diesel technology: Diesel engines* (2nd ed.). Clifton Park, NY: Cengage Learning.

Draghi, L., & Filgueira, R. (2015). *Universidad Nacional de la Plata*. Obtenido de https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/84227/mod_resource/content/0/UNIDAD%203.%20CICLO%20IDEAL%20Y%20REAL%20%28INDICADO%29.pdf

Finders, R. (2022). *Renting Finders*. Obtenido de <https://rentingfinders.com/glosario/piston/>

Sektor. (18 de Enero de 2025). *Solver DCA*. Obtenido de <https://www.solverdca.com.ar/tipos-de-motores-de-combustion-interna/>

Morales, M. Y., & Hernández Guzmán, A. (2014). *Instituto Mexicano del Transporte*.

Obtenido de

<https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt417.pdf>

Speight. (2011). *ScienceDirect*. Obtenido de https://www-sciencedirect-com.translate.goog/topics/engineering/diesel-fuel?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge

Motorkote. (30 de Septiembre de 2022). Obtenido de <https://motorkote.com.co/como-funciona-motor-diesel/#:~:text=Los%20motores%20Diesel%2C%20al%20igual,de%20transmisión%20de%20un%20vehículo?>

Chindon Livisaca, J. E., & Palaguachi Sumba, J. P. (Octubre de 2011). *Dspace*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1558/16/UPS-CT002170.pdf>

Generator, E. (10 de Junio de 2024). Obtenido de <https://www.emsa.gen.tr/es/soporte/preguntas-frecuentes/la-importancia-de-la-sobrealimentacion-en-motores-diesel>

Astrid Dinora, V. M. (2021). *Studocu*. Obtenido de <https://www.studocu.com/gt/document/universidad-galileo/potencia-y-motores/inyeccion-indirecta-diesel/8095458>

ANEXOS

Especificaciones del Motor Yanmar 4JH-DTYE

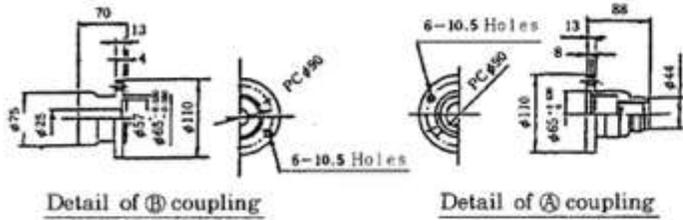
Tipo	Motor diésel vertical de 4 tiempos refrigerado por agua.		
Sistema de combustión	Inyección directa.		
Aspiración	Turbocompresor de turbina de gas de escape con intercooler.		
Número de cilindros	4		
Trazo de perforación mm (in)	78 × 86 (3.07 × 3.39).		
Desplazamiento (cu.in)	ℓ	1.644 (100.33).	
Máximo	Velocidad de salida/cigüeñal	HP/rpm (kW/rpm)	70/3600 (51.49/3600)
	Presión efectiva media del freno	kg/cm ² (lb/in ²)	10.65 (151.44)
	Velocidad del pistón	m/sec. (ft/sec)	10.3 (33.79)
Salida de calificación continua	Velocidad de salida/cigüeñal	HP/rpm (kW/rpm)	64/3400 (47.1/3400)

Salida de calificación continua	Presión efectiva media del freno	kg/cm ² (lb/in ²)	10.30 (146.47)
	Velocidad del pistón	m/sec. (ft/sec)	9.7 (31.83)
Relación de compresión	15.9		
Orden de encendido	1 ^{180°} – 3 ^{180°} – 4 ^{180°} – 2 ^{180°} – 1		
Bomba de inyección de combustible	Bosch en línea tipo YPES-CL		
Tiempo de inyección de combustible (FID)	16° ± 1° bTDC		
Presión de inyección de combustible	kg/cm ² (lb/in ²)	200±5 (2844 ± 71)	
Boquillas de inyección de combustible	Tipo de agujero		
Dirección de rotación	Cigüeñal	Visto en sentido contrario a las agujas del reloj desde la popa	
	Eje de la hélice (adelante)	Visto en sentido horario desde la popa	
Despegue eléctrico	En el lado del volante		
	Refrigeración constante de agua dulce a alta temperatura Agua fresca: Bomba centrífuga		

Refrigeración	Agua de mar: Bomba impulsora de goma			
Sistema de lubricación	Lubricación forzada con bomba trocoide			
Sistema de arranque	Motor de arranque	DC 12V, 1.4kW		
	AC Generador	12V , 35A (55A opcional)		
Turbocompresor	Tipo	RHB52HW(IHI)		
	Modelo	MY34		
	Refrigeración	Refrigeración por aire		
Sistema de refrigeración por aire	Tipo	Tipo de aleta corrugada refrigerada por agua de mar		
	Área de radiación $m^2(in^2)$	0.67 (1038)		
Embrague	Modelo	YX-15		
	Tipo			
	Relación de reducción (adelante/inversa)	2.58/2.58	3.10/3.10	3.53/3.53
	Velocidad continua de la hélice (adelante/inversa)	1316/1316	1098/1098	964/964
	Capacidad de aceite lubricante Efecto/máx. ℓ (cu.in)	0.2 (12.2) / 2.4 (146.4)		
	Peso del embrague kg (lb)	32 (70.56)		

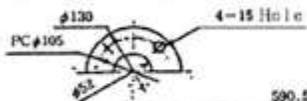
Dimensiones	Longitud total mm (in)	885.3 (3485)
	Ancho total mm (in)	590.5 (2325)
	Altura general mm (in)	668 (2630)
Peso del motor con embrague (seco)	kg (lb)	245 (540)
Capacidad de lubricación Efecto/máx.	ℓ (cu.in)	4.2 (256.3) / 8.0 (488.2)
Capacidad de agua de refrigeración (agua dulce)	Depósito de agua dulce ℓ (cu.in)	6.0 (366.1)
	Subtanque ℓ (cu.in)	0.8 (48.8)

4-4. 4JH-DTYE

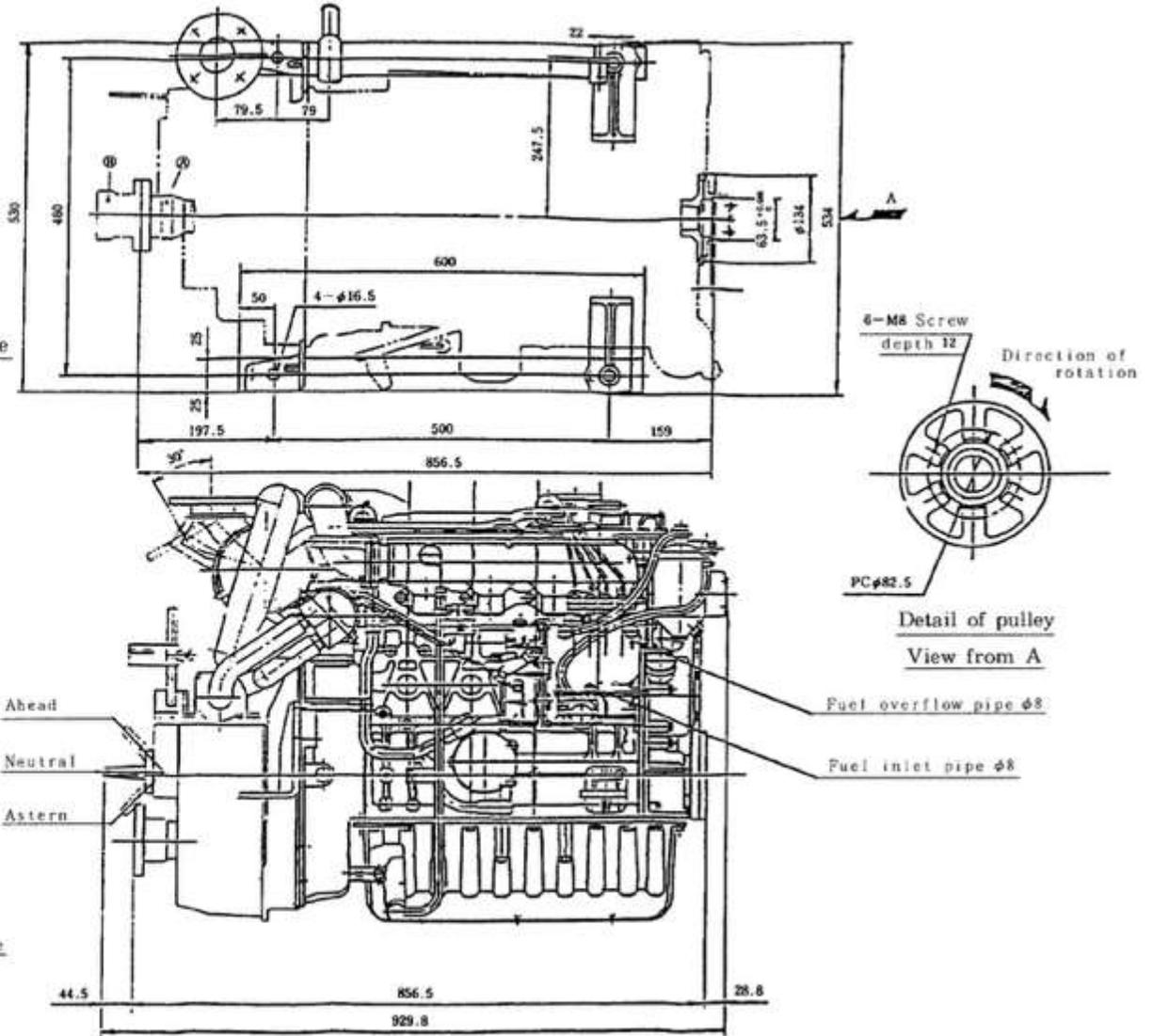
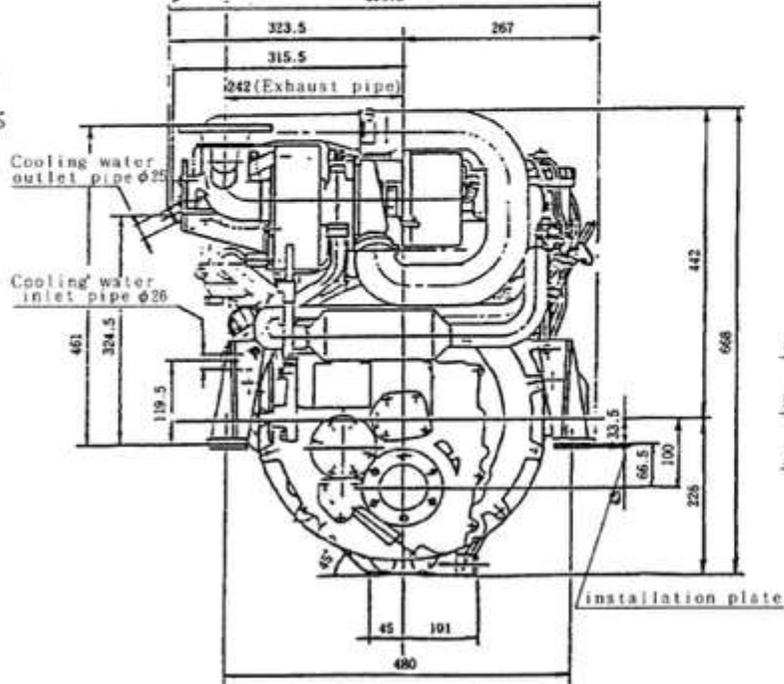


Detail of ㊸ coupling

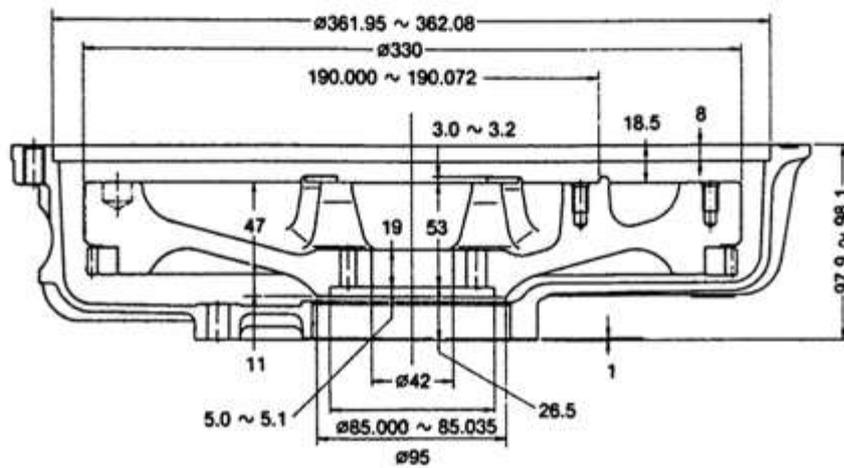
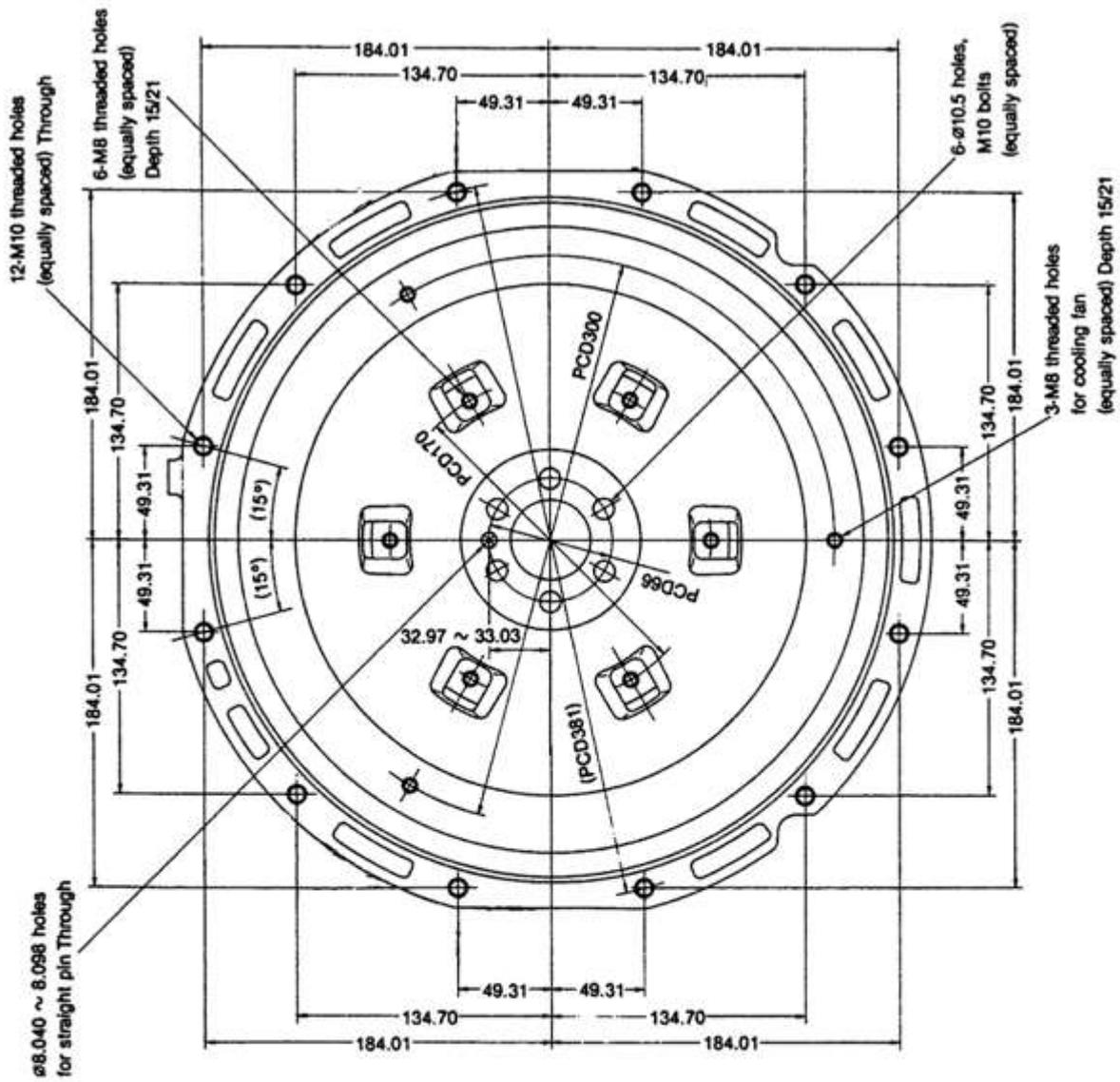
Detail of ㊹ coupling



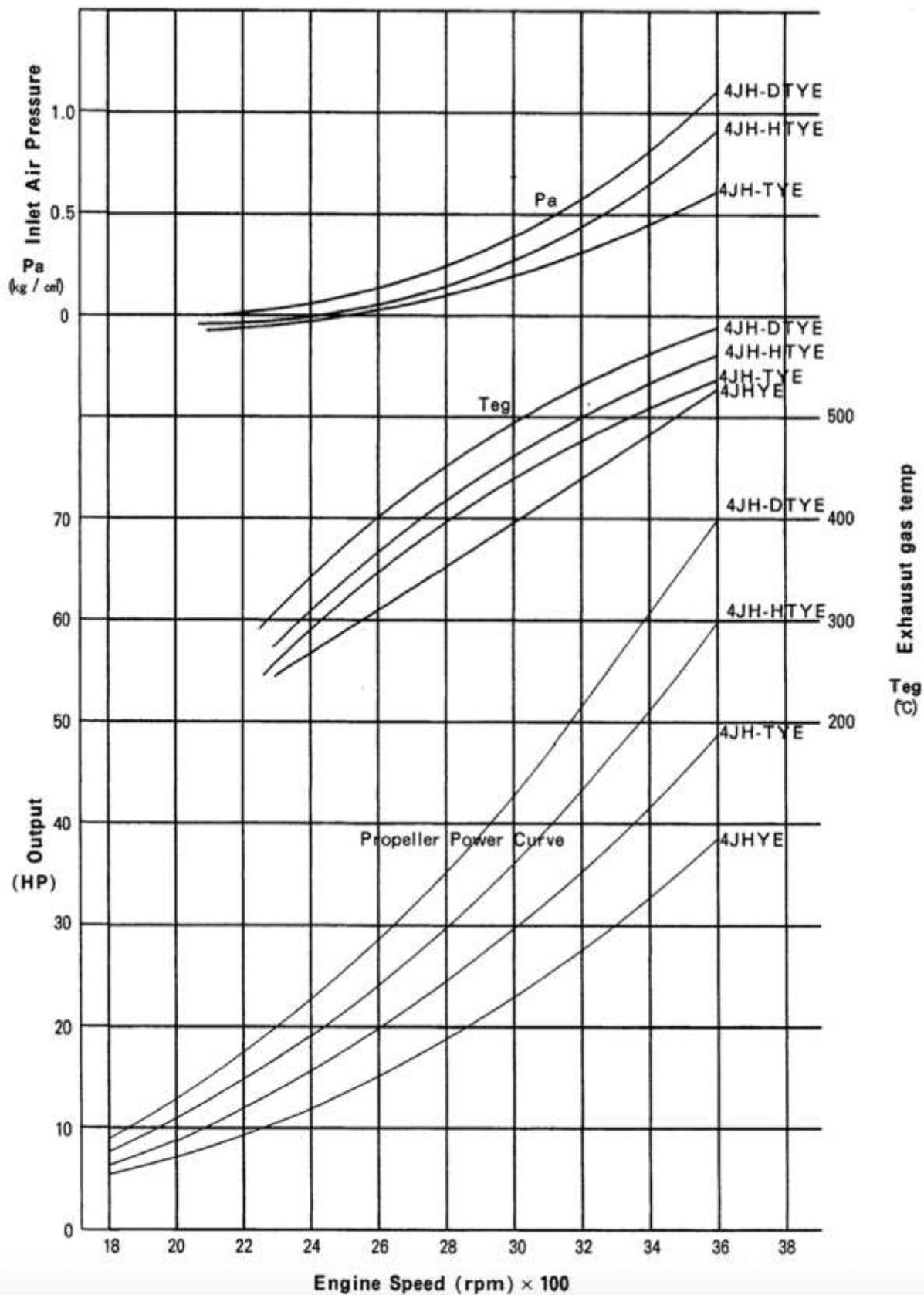
View from upper side



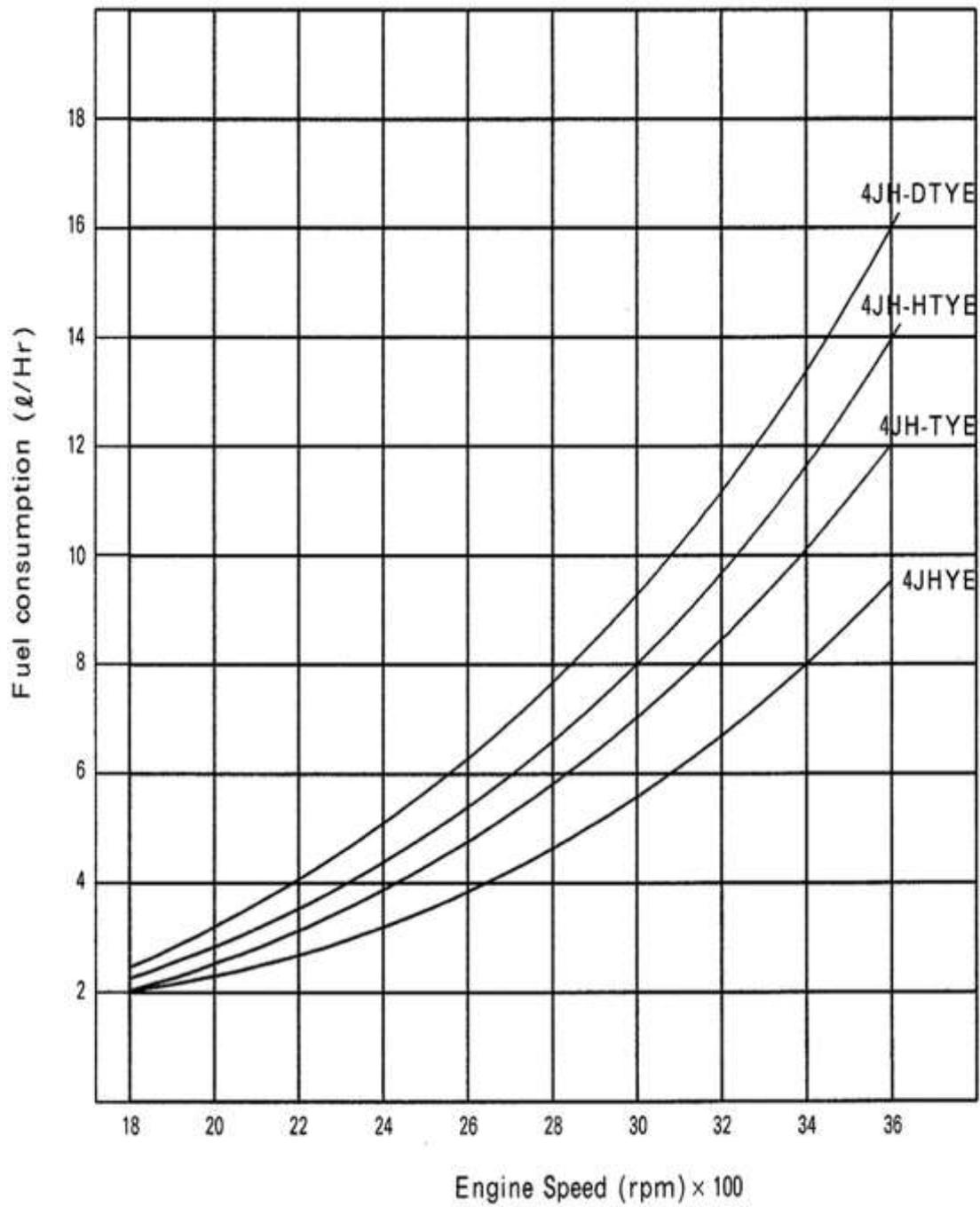
Dimensiones del volante



Curvas de rendimiento



Consumo de combustible para la curva cúbica de la hélice



Diagramas de tuberías

-3. 4JH-HTYE & 4JH-DTYE

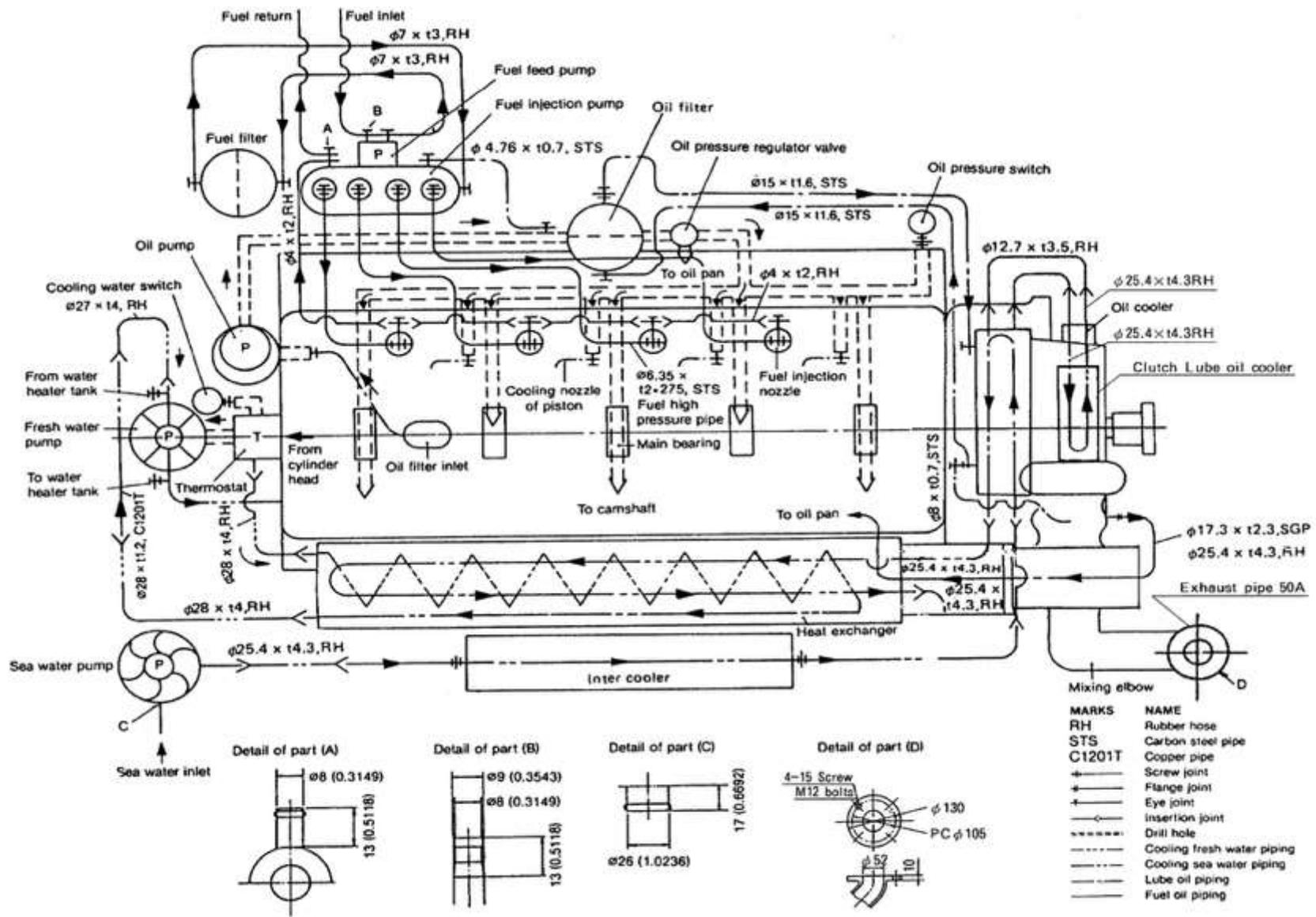
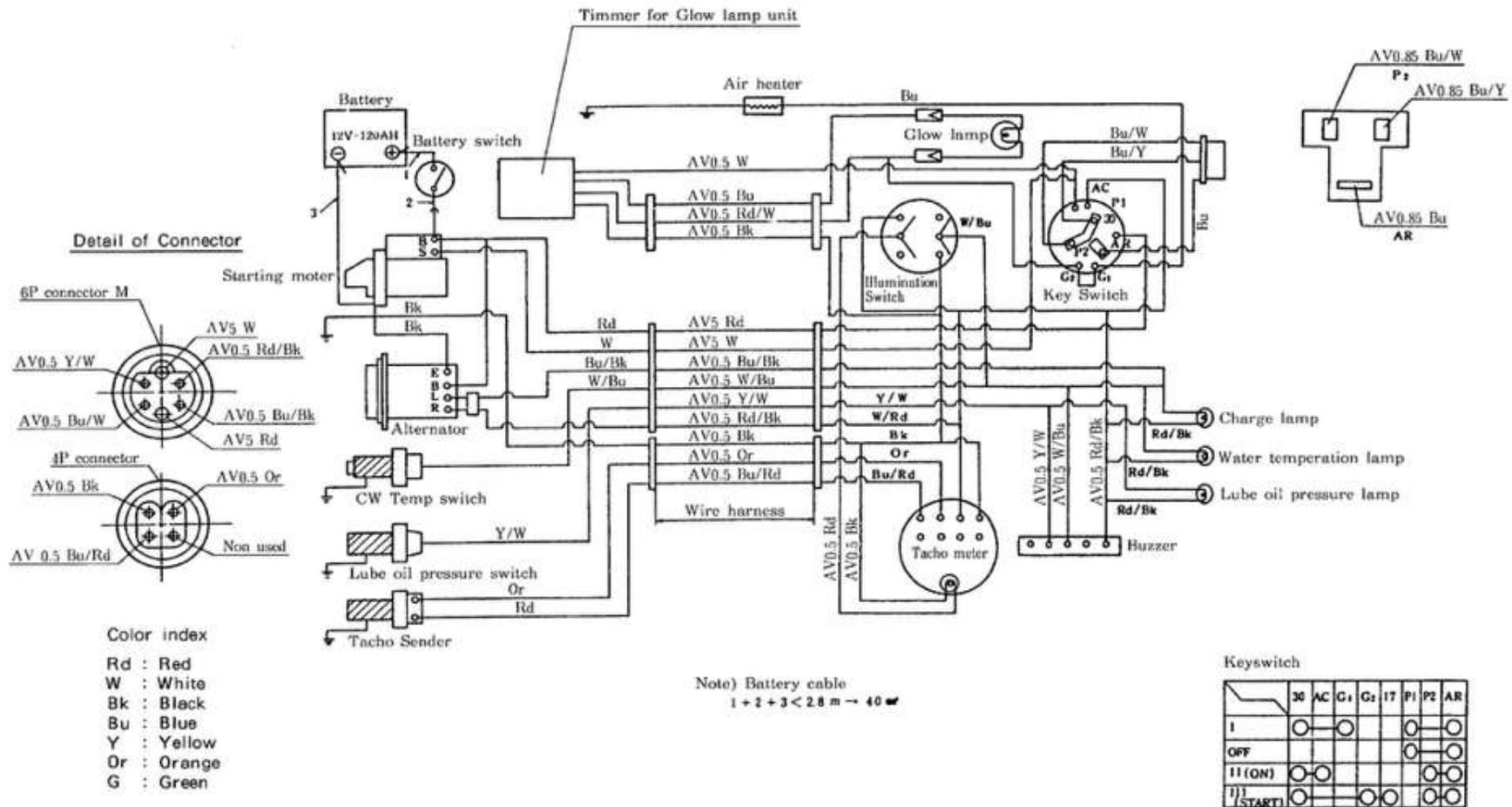
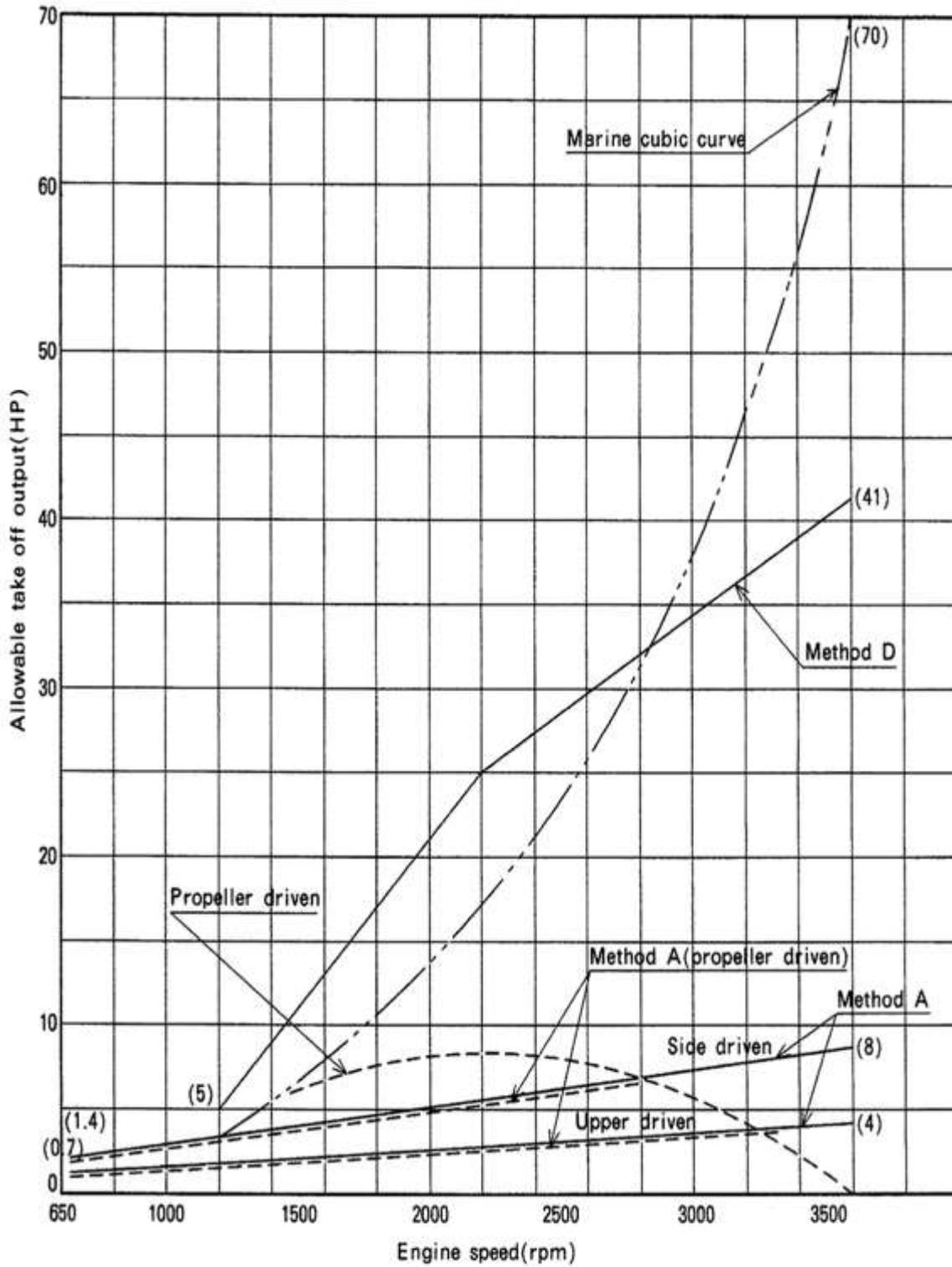


Diagrama de cableado.

Estándar (panel de instrumentos tipo B)



Despegue eléctrico frontal



Hacer clic en el siguiente enlace: [Información Técnica del Motor](#)

Yanmar 4JH-DTYE

Manual de instrucciones para motores de serie JH

II. Antes de poner el motor en funcionamiento.

Gasoil

A fin de obtener un óptimo rendimiento del motor, evitar daños en éste y cumplir los requisitos de la garantía EPA, utilice únicamente los gasóleos recomendados por Yanmar. Use sólo gasoil limpio.

El gasoil debe cumplir las especificaciones siguientes. La tabla enumera varias especificaciones de carácter mundial para los combustibles de gasoil.

Especificaciones del gasóleo	Ubicación
ASTM D975 N° 2-D S15, N° 1-D S15	EE. UU.
EN590-2009	Unión Europea
ISO 8217 DMX	Internacional
BS 2869-A1 o A2	Reino Unido
JIS K2204 Grado N°2	Japón

Combustibles biodiésel

Yanmar admite el uso de combustibles biodiésel que no superen una combinación de 7% de combustible aceite no mineral con 93% de gasóleo estándar. Estos biodiésel se conocen en el mercado como biodiésel B7. El biodiésel B7 puede reducir las partículas en suspensión y la emisión de los gases de efecto invernadero en comparación con el gasóleo estándar.

Si el biodiesel B7 no cumple las especificaciones aprobadas, producirá un desgaste anormal de los inyectores y reducirá la vida del motor.

Los gasóleos B7 deben cumplir determinadas especificaciones.

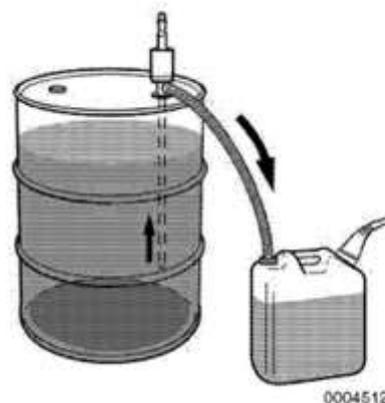
Los biodiesel deben cumplir unas especificaciones mínimas para el país en el que se están utilizando:

- En Europa, los biodiesel deben cumplir el estándar europeo EN590-2009, EN14214.
- En Estados Unidos, los biodiesel deben cumplir el estándar americano ASTM D-6751 Grado-S15, D7467 Grado B7-S15.

El biodiesel debe adquirirse sólo a proveedores reconocidos y autorizados.

Manipulación del gasoil

La presencia de agua y polvo en el combustible puede provocar fallos en el motor. Cuando almacene combustible, compruebe que el interior del recipiente de almacenamiento esté limpio y seco, y de que el combustible se almacene lejos de la suciedad y la lluvia.



Mantenga el recipiente de combustible inmóvil durante varias horas para permitir que cualquier resto de agua o residuos se asiente en el fondo. Utilice una bomba para extraer el combustible limpio y filtrado de la parte superior del contenedor.

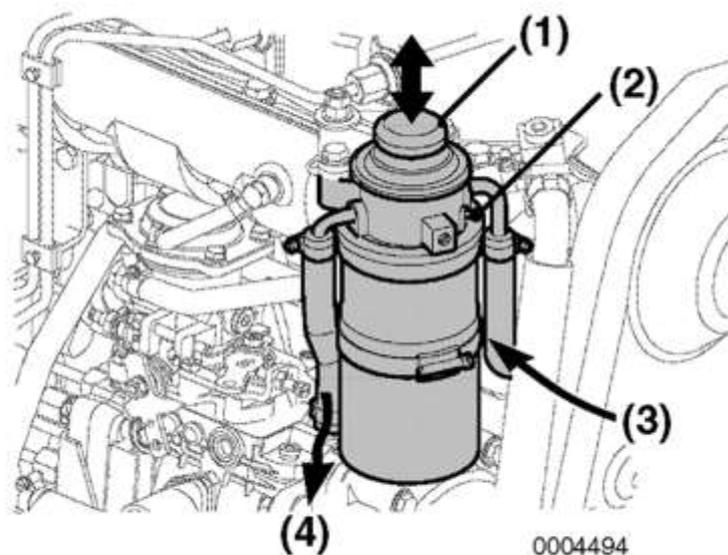
Llenado del depósito de combustible

Aclare el depósito de combustible con queroseno o gasóleo. Deseche los residuos correctamente

Para llenar el depósito de combustible

1. Limpie la zona próxima al tapón de combustible.
2. Retire el tapón del depósito de combustible.
3. Llene el depósito con combustible limpio sin aceite ni residuos.
4. Deje de repostar cuando el indicador muestre que el depósito de combustible está lleno
5. Vuelva a colocar el tapón de combustible y apriételo a mano. El apriete excesivo del tapón de combustible lo dañará.

Purga del sistema de combustible



- 1- Bomba de cebado.**
- 2- Tornillo de purga de aire.**
- 3- Desde el depósito de combustible.**
- 4- A la bomba de inyección de combustible.**

1. Compruebe el nivel de combustible del depósito. Reponga si es necesario.
2. Abra el grifo de combustible del depósito de combustible.
3. Afloje el tornillo de purga de aire (2) de dos a tres vueltas.
4. Empuje y tire de la bomba de cebado (1) para expulsar el aire.
5. Continúe bombeando hasta que un flujo constante de combustible sin burbujas de aire comience a surgir.
6. Apriete el tornillo de purga de aire.

Especificaciones del aceite del motor

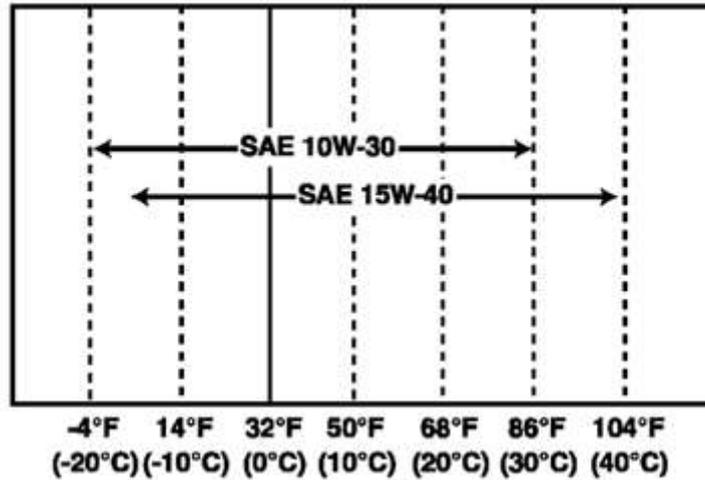
La utilización de un aceite de motor que no cumpla o supere las directrices no cumpla o supere las directrices o especificaciones que se indican a continuación puede provocar obstrucción de las piezas, desgaste anómalo y acortar la vida del motor.

Categorías de servicio

- 4JH4-TE, 4JH4-HTE, 4JH-DTYE: Categorías de servicio API CD, CF, CF-4 y CI-4.
- 3JH5E, 3JH5AE, 4JH5E y 4JH-DTYE: Categorías de servicio API CF, CF-4 y CI-4.
- Viscosidad SAE:
10W-30, 15W-40. Los aceites de motor.
10W-30 y 15W-40 se pueden utilizar todo el año.

Aviso

- Asegúrese de que no haya sedimentos ni agua en el aceite del motor, bidones para aceite ni en los equipos de llenado de aceite del motor.
- Cambie el aceite de motor tras las primeras 50 horas de funcionamiento y cada 250 horas a partir de entonces.
- Seleccione la viscosidad del aceite en base a la temperatura ambiente en la cual se operará el motor. Consulte el Gráfico viscosidades de los grados de servicio SAE.
- Yanmar no recomienda la utilización de "aditivos" en el aceite de motor.

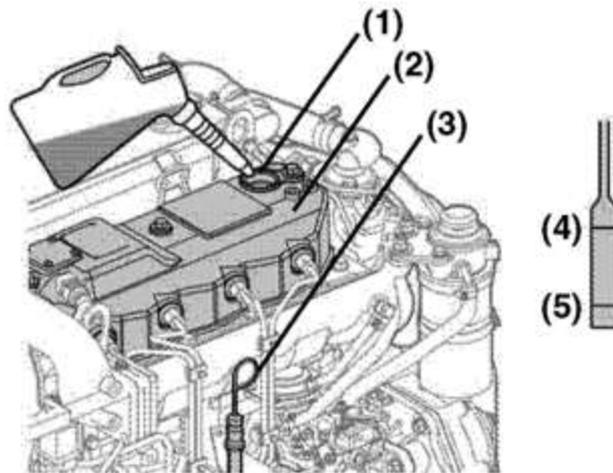


Viscosidad del aceite del motor

Se recomiendan las viscosidades de aceite SAE 10W-30 o SAE 15W40.

Si utiliza el equipo a temperaturas fuera de los límites indicados, consulte al concesionario o distribuidor autorizado de Yanmar para obtener información sobre lubricantes especiales o dispositivos auxiliares de arranque.

Comprobación del aceite del motor



- 1- Asegúrese de que el motor está nivelado
- 2- Retire la varilla de nivel (3) y límpiela con un trapo limpio.
- 3- Vuelva a insertar totalmente la varilla de nivel de aceite.
- 4- Extraiga la varilla de nivel de aceite. El nivel de aceite debe encontrarse entre las líneas superior (4) e inferior (5) de la varilla de nivel.
- 5- Añada aceite en caso necesario.
- 6- Vuelva a insertar totalmente la varilla de nivel de aceite.

Adición de aceite del motor

1. Retire el tapón amarillo de la boca de llenado de aceite (1) y rellene con aceite de motor.

Aviso

Evite que el polvo y los residuos contaminen el aceite del motor. Antes de retirar el tapón, limpie cuidadosamente la varilla de nivel de aceite, así como la zona próxima.

2. Llene con aceite hasta el límite superior (4) de la varilla de nivel (3).

Aviso

No llene NUNCA en exceso el motor con aceite de motor.

3. Inserte totalmente la varilla de nivel de aceite para comprobar el nivel.

Aviso

Mantenga siempre el nivel de aceite entre las líneas superior e inferior del tapón o de la varilla / tapa de nivel de aceite.

4. Apriete bien el tapón de la boca de llenado con la mano.

Especificaciones del aceite de inversor reductor marino

Utilice un aceite de inversor reductor marino que cumpla o supere las directrices y clasificaciones que se indican a continuación:

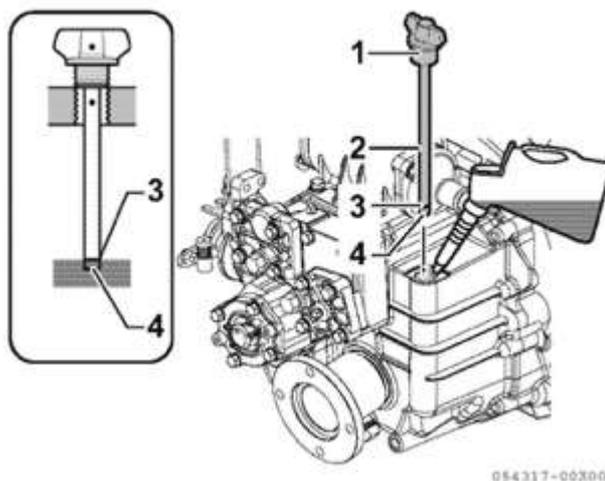
KM35P, KM35A, KM35A2, KM4A1, KM4A2, KMH4A:

- Categorías de servicio API CD o ^[1]SEF superior
- Viscosidad SAE #20 o #30

ZF30M, ZF25A:

- ATF (Fluido de transmisión automática).

Comprobación de aceite de inversor reductor marino



- 1- Varilla de nivel de aceite (Tipo combinado de tapón de llenado):**
- 2- Boca de llenado del inversor.**
- 3- Límite superior.**
- 4- Límite inferior (Extremo de la varilla de nivel de aceite).**

Nota: Se muestra el 4JH4-HTE con inversor reductor marino KMH4A

1. Asegúrese de que el motor está nivelado.
2. Retire el tapón de llenado (1) de la parte superior de la caja.
3. Retire la varilla de nivel (2) y límpiela con un trapo limpio.
4. Vuelva a insertar la varilla de nivel de aceite sin enroscarla hacia adentro.
5. Extraiga la varilla de nivel de aceite. El nivel de aceite debe encontrarse entre las líneas superior (3) e inferior (4) de la varilla de nivel.
6. Enrosque la varilla de nivel de aceite hacia adentro.

Especificaciones del refrigerante del motor

Añada siempre LLC a agua blanda, especialmente cuando trabaje a bajas temperaturas. nunca utilice agua dura. El agua debe estar limpia y no tener sedimentos ni partículas. Sin LLC, el rendimiento del refrigerante disminuirá debido al óxido y las incrustaciones en el sistema de refrigeración. El agua sola puede congelarse y formar hielo, que se expande aproximadamente un 9% en volumen. Utilice la cantidad de concentrado de refrigerante adecuada para la temperatura ambiente según especifique el fabricante de LLC. La concentración de LLC debería ser de un mínimo del 30% a un máximo del 60%. Demasiado LLC reducirá la eficacia del refrigerante. El uso excesivo de anticongelante también reduce la eficacia de refrigeración del motor. Nunca mezcle distintos tipos o marcas de LLC o podría formarse un sedimento dañino. La mezcla de

diferentes marcas de anticongelante puede causar reacciones químicas y hacer que el anticongelante pierda su eficacia o cause problemas en el motor.

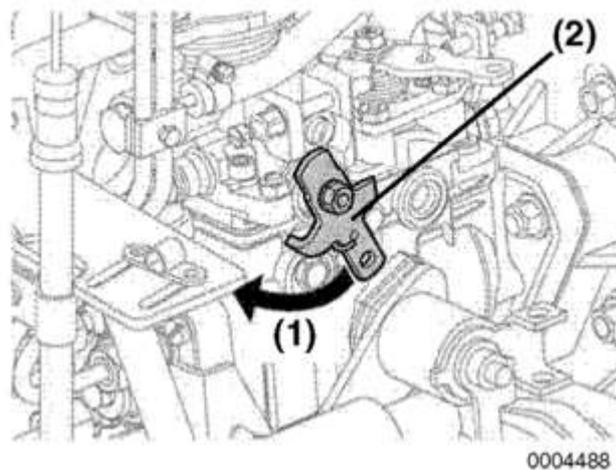
Arranque en frío del motor

Si no ha utilizado el motor durante un largo período, el aceite de motor no será distribuido por todas las piezas operativas. Utilizar el motor en estas condiciones podría provocar agarrotamientos. Tras un largo período de desuso, distribuya aceite de motor en cada una de las piezas mediante el arranque en frío. Antes de comenzar el funcionamiento, cumpla con los siguientes procedimientos.

1. Abra el grifo de fondo.
2. Abra el grifo de combustible.
3. Coloque la palanca de cambios del control remoto en punto muerto.
4. Encienda el interruptor de la batería (si lo hay).
5. Arranque en frío el motor.
 - 3) Pulse el interruptor de alimentación del panel de instrumentos y active la alimentación.
 - 4) Modelos 4JH4-TE/4JH4-HTE:

Opere el motor de arranque mientras mueve y mantiene (1) la palanca de paso, (2) del regulador para detener el flujo de combustible.

Al presionar el interruptor de arranque en el panel de instrumentos mientras presiona el botón de emergencia, el motor de arranque se pondrá en marcha y el motor arrancará en frío. Arranque en frío durante 5 segundos.



5) Continúe arrancando el motor en frío durante aproximadamente 5 segundos, comprobando se producen sonidos anormales.

Si no oye ningún sonido anormal, pulse el interruptor de alimentación y apague el motor.

Funcionamiento del motor

Arranque del motor

1. Abra el grifo de fondo (si lo hay).
2. Abra el grifo del depósito de combustible.
3. Coloque la palanca de control remoto en punto muerto.
4. Encienda el interruptor de la batería durante el funcionamiento del motor.
5. Pulsar el interruptor de arranque arranca el motor. Libere el interruptor tras arrancar el motor.

Si no consigue arrancar el motor

Antes de volver a pulsar el interruptor de arranque, asegúrese de que el motor está totalmente parado. Si intenta rearrancar con el motor ya arrancado, el engranaje del piñón del motor de arranque será dañado.

Aviso

No mantener NUNCA durante más de 15 segundos o el motor de arranque se sobrecalentará.

Nunca intente rearrancar el motor si el mismo no se ha detenido completamente. Se producirían daños en el engranaje del piñón y en el motor de arranque.

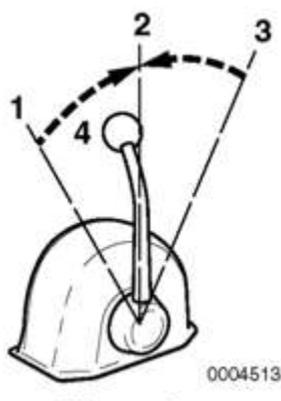
Nota: Mantenga pulsado el interruptor de arranque durante un máximo de 15 segundos. Si el motor no arranca a la primera, espere unos 15 segundos antes de volver a intentarlo.

Purga de aire del sistema de combustible tras fallar el arranque

Si el motor no arranca tras varios intentos, puede que haya aire en el sistema de combustible. Si hay aire en el sistema de combustible, el combustible no podrá llegar hasta la bomba de inyección de combustible. Purgue el aire fuera del sistema. Consultar Purga del sistema de combustible en la página 40.

Funcionamiento de la palanca de control remoto

Aceleración y desaceleración



1. Avante o marcha atrás.
2. Punto muerto.
3. Marcha atrás o avante.
4. Palanca de aceleración / Palanca del embrague.

Precauciones durante el funcionamiento

Pueden surgir problemas en el motor si funciona durante mucho tiempo en condiciones de sobrecarga con la palanca de mando en la posición de aceleración máxima (posición de velocidad máxima del motor), superando la velocidad de potencia continua nominal del motor. Haga funcionar el motor a una velocidad 100 min⁻¹ inferior a la velocidad aceleración máxima.

Cuando el motor esté en marcha esté siempre alerta por si aparecen problemas.

Preste especial atención a lo siguiente:

- **¿Sale suficiente agua salada por el escape o por la salida de agua salada?**

Si el caudal de salida es pequeño, pare inmediatamente el motor, identifique la causa y repárela.

- **¿Es normal el color del humo?**

La emisión continua de humo de escape negro indica una sobrecarga del motor. Esto acorta la vida del motor y debe evitarse.

- **¿Hay vibraciones o ruidos anómalo?**

Unas vibraciones excesivas pueden provocar daños en el motor, el inversor, el casco o en los equipos de a bordo.

- **¿Hay fugas de agua, aceite o combustible? ¿Hay algún perno suelto?**

Compruebe periódicamente si hay algún problema en el compartimiento del motor.

- **¿Hay suficiente gasóleo en el depósito?**

Llene el depósito de gasóleo antes de abandonar el muelle para evitar quedarse sin combustible durante el funcionamiento.

- **Si hace funcionar el motor a baja velocidad durante períodos prolongados, revolucione el motor una vez cada 2 horas.**

Revoluciona miento del motor: Con el inversor reductor en punto muerto, acelere desde la posición de baja velocidad hasta la de alta velocidad y repita este proceso unas cinco veces. Esto se realiza para eliminar el hollín de los cilindros y de la válvula de inyección de combustible. Si no revoluciona el motor periódicamente, el color del humo no será satisfactorio y se reducirá el rendimiento del motor.

Si es posible, haga funcionar periódicamente el motor cerca de la velocidad de motor máxima durante la navegación. Esto aumentará la temperatura de los gases de escape, lo que contribuirá a eliminar los depósitos de hollín, manteniendo así el rendimiento del motor y prolongando su vida.

Apagado del motor

Parada normal

1. Reduzca la velocidad del motor a ralentí bajo y coloque la palanca del control remoto en punto muerto.
2. Acelere desde baja velocidad hasta alta velocidad y repita el proceso cinco veces. Esto eliminará el hollín de los cilindros y de las boquillas de inyección de combustible.
3. Deje el motor en marcha a baja velocidad (aproximadamente 1000 min⁻¹) sin carga durante 5 minutos.

Aviso

Para obtener la máxima vida útil, Yanmar recomienda que al parar el motor lo deje funcionar al ralentí, sin carga, durante 5 minutos. Esto permite que los componentes del motor que funcionan a altas temperaturas, como el turbocompresor (si lo hay) y el sistema de escape, se enfríen ligeramente antes de que el motor se pare.

4. Mantenga pulsado el interruptor de parada. Una vez detenido el motor, desactive el interruptor de alimentación.

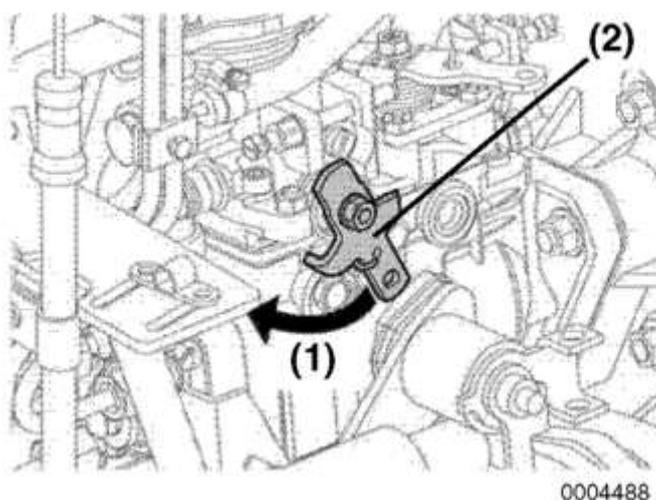
Aviso

Continúe manteniendo pulsado el interruptor de parada hasta que el motor se haya detenido por completo. Si suelta el interruptor antes de que el motor se detenga completamente, podría reiniciarse. Si el motor no se apaga, consulte Apagado de emergencia en la página 63.

5. Apague el interruptor de la batería (si lo hay).
6. Cierre el grifo de combustible.
7. Cierre el grifo de fondo (si lo hay).

Apagado de emergencia

No utilice nunca el interruptor de parada de emergencia para parar el motor normalmente. Utilice este interruptor sólo cuando sea necesario parar inmediatamente el motor debido a una emergencia.



Si el motor no se detiene mediante el interruptor de parada del panel, detenga el motor moviendo manualmente la palanca de parada (2) hacia la izquierda (1). La palanca está adherida a la bomba de inyección de combustible.

Mantenimiento Periódico

Apriete de sujeciones

Utilice la torsión adecuada para apretar los pernos del motor. Una torsión excesiva puede dañar la sujeción o el componente, y una torsión insuficiente puede causar una fuga o el fallo de un componente.

Aviso

Las torsiones de apriete de la tabla de torsión estándar sólo deben aplicarse a los pernos con la cabeza marcada con un "8.8" (clasificación de resistencia JIS:

8.8). Aplique el 60% de la torsión a los tornillos que no figuren en la tabla. Aplique el 80% de la torsión cuando apriete sobre aleación de aluminio.

Diámetro del perno x paso (mm)		M6 x 1,0	M8 x 1,25	M10 x 1,5	M12 x 1,75	M14 x 1,5	M16 x 1,5
Torsión de apriete	N·m	10,8±1,0	25,5±3,0	49±5,0	88,2±10,0	140,0±10,0	230 ± 10,0
	Pies-lb	8,0±0,7	18,8±2,2	36,2±3,7	65,1±7,4	103±7,2	170±7,2

Tapones cónicos		1/8	1/4	3/8	1/2
Torsión de apriete	N·m	9.8	19.6	29.4	58.8
	Pies-lb	7.4	14.5	21.7	43.2

Al aplicar adhesivo de bloqueo, decidir independiente

Pernos de unión de tuberías		M8	M10	M12	M14	M16
Torsión de apriete	N·m	14,72	22,5±3	29,4±5	14,1±5	53,9±5
	Pies-lb	10,9±1,5	16,6±2,2	21,7±3,7	32,6±3,7	69,8 ± 3,7

Al aplicar la arandela de sello, el par de torque es de 34 ± 5 N·m ($25,1 \pm 3,7$ pies – lb).

Tuercas y pernos principales

Nombre	Diámetro de la rosca x paso	Aplicación del aceite lubricante (parte de la muesca y superficie de apoyo)	Torque N·m (pies-lb)
Pernos de cabeza	M10 x 1,25	Sí	88,2 ± 3 (65,1 ± 2,2)
Pernos de biela	M9 x 1,0	Sí	44,1 a 49,1 (32,6 a 36,3)
Perno del volante	M10 x 1,25	Sí	83,3 a 88,3 (61,5 a 65,2)
Perno de tapa metálica	M12 x 1,5	Sí	98 ± 2 (72,3 ± 1,5)
Perno de polea del cigüeñal (Material de la polea: FC300)	M14	Sí	88,2 ± 5 (65,1 ± 3,7)
Perno de apriete de la boquilla	M8 x 1,25		26,4 ± 2 (19,5 ± 1,5)
Perno de apriete del inversor reductor	M14 x 1,5	Sí	64 ± 5 (41,6 ± 3,7)
Tuerca del tubo de alta presión	M12 x 1,5		29,4 a 34,4 (21,7 a 25,4)
Tuerca del relé del motor de arranque	M6 x 1		3,6 ± 0,6 (2,7 ± 0,4)

Procedimientos de mantenimiento periódico

Es importante realizar las comprobaciones diarias que constan en el Manual de instrucciones. El mantenimiento periódico evita los tiempos de inactividad inesperados, reduce el número de accidentes debidos al mal funcionamiento del motor y alarga la vida del motor.

Asegúrese de comprobar los siguientes elementos:

1. Compruebe que no haya fugas de aceite del motor.
2. Compruebe que haya fugas de combustible.
3. Compruebe que no haya fugas de refrigerante del motor.
4. Compruebe que falten piezas y que no haya piezas dañadas.
5. Compruebe que no falten elementos de unión y que no estén flojos ni dañados.
6. Compruebe que los manojos de cables no tengan grietas ni abrasiones y que los conectores no estén dañados ni corroídos.
7. Compruebe que las mangueras no tengan grietas ni abrasiones y que las abrazaderas no estén dañadas, flojas ni corroídas.
8. Compruebe que no haya agua ni contaminantes en el filtro de combustible o separador de agua. Si encuentra agua o contaminantes, drene el filtro de combustible / separador de agua. Consultar Vaciado del filtro separador de agua/combustible en la página 84. Si tiene que vaciar con frecuencia el filtro de combustible o separador de agua, vacié el tanque de combustible y compruebe si hay agua en el suministro de combustible.

Aviso

Si descubre algún problema durante la inspección visual, realice las acciones correctivas necesarias funcionar el motor.

Tras las primeras 50 horas de funcionamiento

Realice el siguiente mantenimiento tras las primeras 50 horas de funcionamiento.

- **Drenaje del depósito de combustible.**

- 1) Coloque un contenedor bajo el grifo de drenaje para recoger el combustible.

- 2) Abra el grifo de drenaje y drene el agua y los sedimentos. Cierre el grifo de drenaje cuando el combustible esté limpio y sin burbujas.

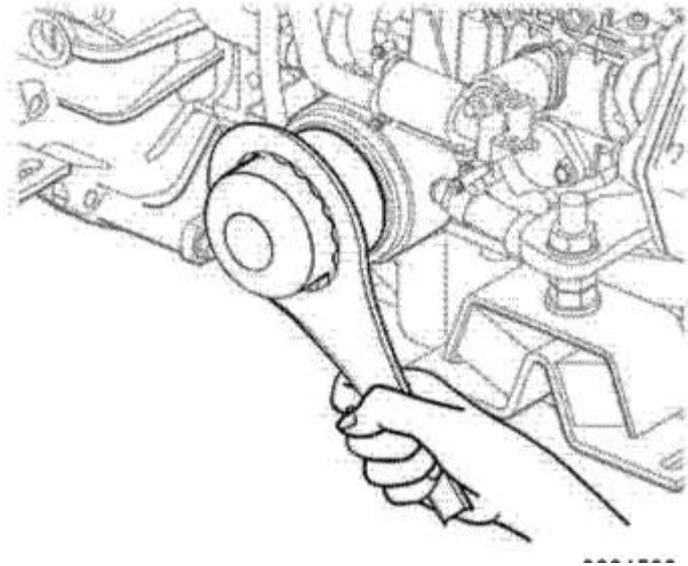
- **Cambio del aceite del motor y sustitución del filtro de aceite del motor.**

El aceite de motor de un motor nuevo se contamina debido al rodaje inicial de las piezas internas. Es muy importante que el primer cambio de aceite se realice según esté previsto. Es más fácil y eficaz vaciar el aceite del motor después del funcionamiento, con el motor aún caliente.

- 1) Apague el motor

- 2) Retire la varilla de nivel de aceite del motor. Conecte la bomba de vaciado de aceite (si la hay) y extraiga el aceite. Para facilitar el drenaje, retire el tapón de llenado del aceite del motor. Deseche el aceite correctamente.

- 3) Retire el filtro de aceite de motor (Figura) con una llave de filtros (girando en sentido contrario a las agujas del reloj).



- 1) Instale un nuevo filtro y apriételo manualmente hasta que la junta toque la carcasa.
- 2) Gire los filtros 3/4 de vuelta más con una llave fija. Apretar de 20 a 24 N-m (177 a 212 pul.-lb).
- 3) Rellene con aceite de motor nuevo. Consultar Adición de aceite del motor en la página 43.
- 4) Realice un funcionamiento de prueba y compruebe que no haya fugas de aceite.
- 5) Una vez parado el motor, espere unos 10 minutos y compruebe el nivel con la varilla de nivel de aceite. Añada aceite si el nivel es demasiado bajo.

Aviso

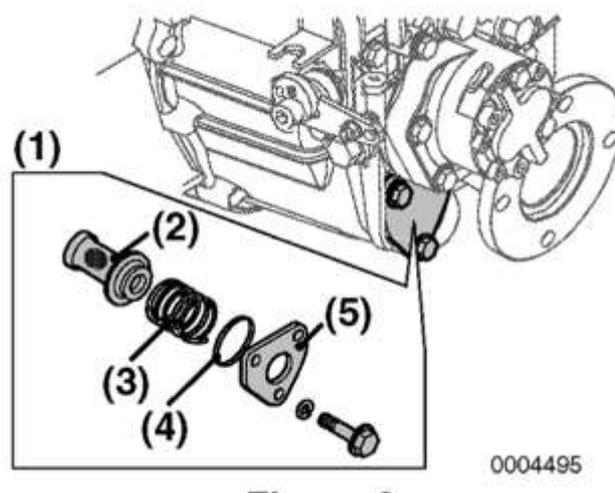
Tenga cuidado y no permita que la correa estriada en V entre en contacto con el aceite. La presencia de aceite en las correas hace que patinen y se estiren. Cambie la correa si está dañada.

Cambio de aceite del inversor reductor marino y sustitución del filtro (si lo hay).

- 1) Retire el tapón de la boca de llenado y conecte una bomba de vaciado de aceite.

Drenaje de aceite del inversor reductor marino.

- 2) Inversor reductor marino KMH4A: Lave el filtro de aceite del inversor reductor marino:



- 1) Retire la tapa lateral (5) y después el filtro (2).
- 2) Limpie profundamente el filtro con queroseno o gasoil limpio.
- 3) Mantenga el filtro en su sitio con el muelle helicoidal (3) e insértelo en la caja.

Coloque una junta tórica nueva 4) en la tapa lateral.

- 4) Instale la tapa lateral y apriete los pernos de esta.
- 5) Llene el inversor reductor marino con aceite para inversores reductores limpio.

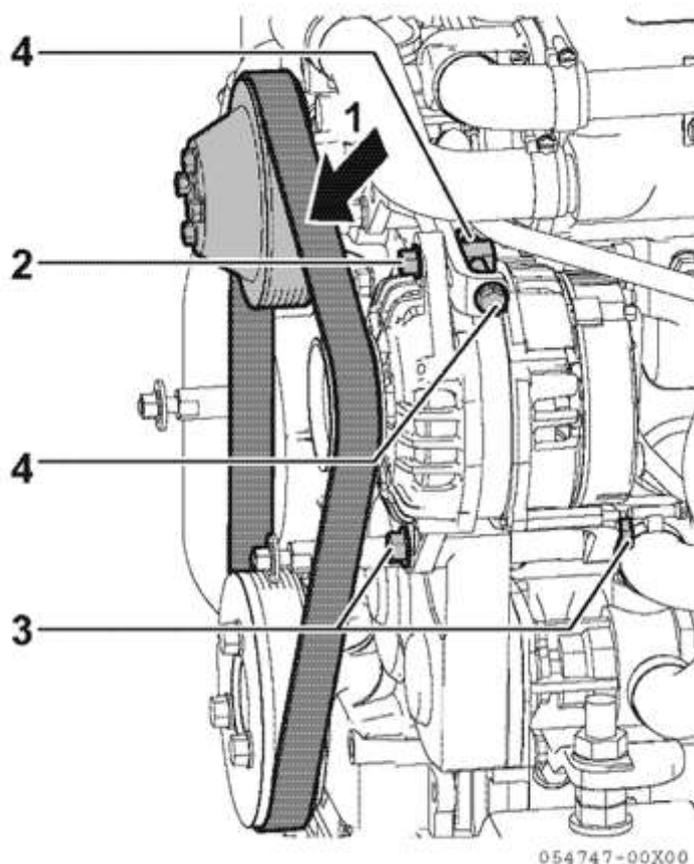
Consultar Especificaciones del aceite de inversor reductor marino en la página 44.

- 6) Realice un funcionamiento de prueba y compruebe que no haya fugas de aceite.
- 7) Una vez parado el motor, espere unos 10 minutos y compruebe el nivel con la varilla de nivel de aceite. Añada aceite si el nivel es demasiado bajo.

- **Comprobación y ajuste de la tensión de la correa estriada en V del alternador**

Si la correa estriada en V no está suficientemente tensa, patinará y la bomba de refrigerante no podrá suministrarlo. El resultado será el sobrecalentamiento y el gripaje del motor.

No permita nunca que las correas entren en contacto con el aceite. La presencia de aceite en las correas hace que patinen y se estiren. Cambie la correa si está dañada.



- 1) Retire la cubierta de la correa.
- 2) Compruebe la correa presionando su centro (1) con el dedo.
 - Con una fuerza moderada, la correa debe curvarse entre 8 y 10 mm (aproximadamente 3/8 pul).
- 3) Afloje los 3 pernos del alternador (2) (3) (4).

4) Atornille el perno de ajuste (4) y mueva el alternador para ajustar debidamente la tensión de la correa.

5) Apriete los tres pernos del alternador.

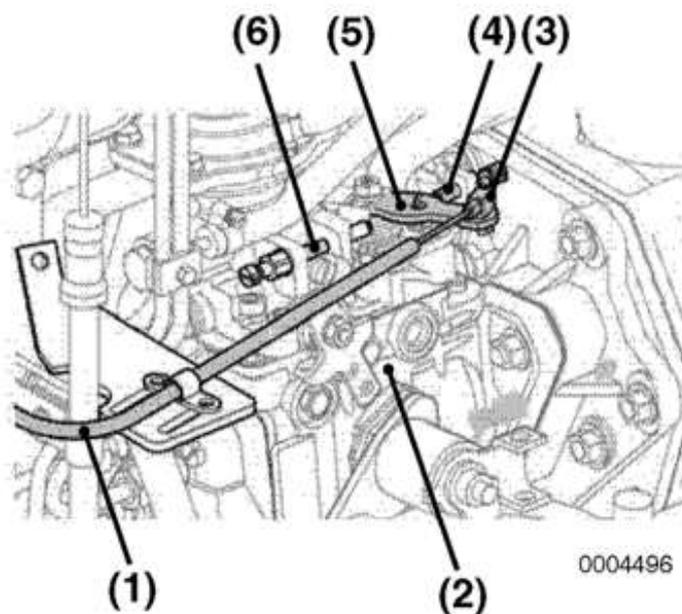
6) Coloque la cubierta de la correa.

▪ **Revisión y ajuste de los huelgos de las válvulas de admisión / escape**

Para mantener el tiempo correcto de apertura y cierre de las válvulas es necesario un ajuste adecuado. Un ajuste inadecuado hará que el motor emita un ruido excesivo, reducirá su rendimiento y lo dañará. Consulte a su concesionario o distribuidor autorizado de Yanmar Marine para ajustar la holgura de las válvulas de admisión / escape (holgura de 0.20 mm).

▪ **Ajuste del cable del motor del control remoto de velocidad del motor.**

Asegúrese de que la palanca de control en el motor se mueve hasta el tope de velocidad máxima y el tope de velocidad mínima al mover la palanca del control remoto hasta máximo y mínimo.



1. **Cable.**
2. **Bomba de inyección de combustible.**
3. **Montaje de cable.**
4. **Parada de velocidad baja.**
5. **Palanca de control.**
6. **Parada de velocidad alta.**

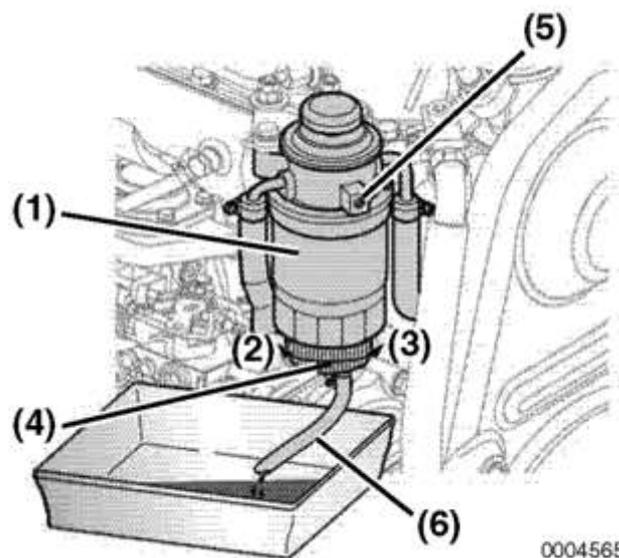
1) Para ajustar, afloje el conector de cables (3) para el cable de control remoto del lado del motor, y ajuste.

2) Ajuste primero la posición de parada de alta velocidad (6) y luego la parada de baja velocidad (4), con el tornillo de ajuste de la palanca del control remoto (5).

Cada 50 horas de funcionamiento

Realice las operaciones de mantenimiento que se indican a continuación cada 50 horas de operación o mensualmente, lo que suceda antes.

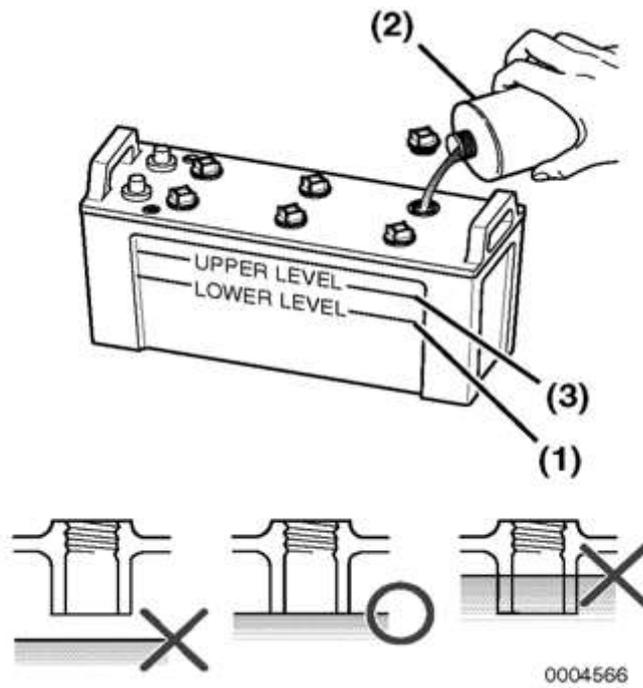
Vaciado del filtro separador de agua/ combustible



1. Cierre el grifo del depósito de combustible.
2. Afloje la abrazadera del manguito y retire la cubierta resistente al fuego, la que se instala en la parte inferior del filtro separador de agua/combustible para proteger el interruptor de alarma del agua.
3. Conecte un tubo (6) al tapón de drenaje (4).
4. Afloje el tapón de drenaje (4) de la parte inferior del filtro separador de agua/combustible girándolo en el sentido contrario a las agujas del reloj y vacie toda el agua y la suciedad.
5. Apriete el tapón de vaciado.
6. Retire el tubo de vaciado.
7. Coloque la cubierta resistente al fuego y apriete la abrazadera del manguito.
8. Purgue el aire del sistema de combustible.

Comprobación del nivel de electrolito de la batería (solo en baterías que pueden repararse)

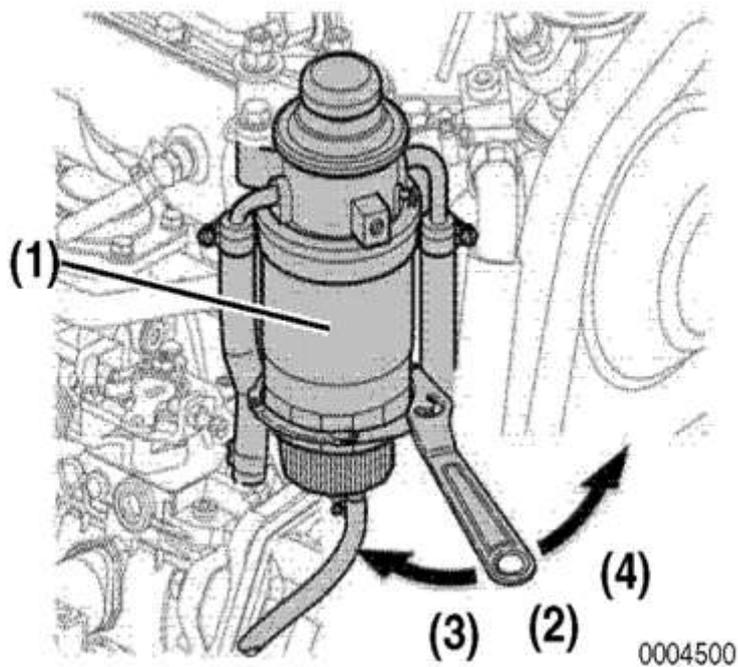
1. Apague el interruptor de la batería (si lo hay) o desconecte el cable negativo (-) de la batería.
2. No ponga la embarcación en funcionamiento si el electrolito es escaso, ya que, de lo contrario, destruirá la batería.
3. Retire las tapas y compruebe el nivel de electrolito en todos los elementos de la batería.
4. Si el nivel es inferior al nivel mínimo de llenado (1), rellene con agua destilada (2) hasta el límite superior (3) de la batería.



Cada 250 horas de funcionamiento

Realice las operaciones de mantenimiento que se indican a continuación cada 250 horas o cada año de operación, lo que suceda antes.

Recambio del filtro de combustible



1. Cierre el grifo de drenaje del depósito de combustible.

2. Afloje la abrazadera del manguito y retire la cubierta resistente al fuego, la que se instala en la parte inferior del filtro separador de agua/combustible para proteger el interruptor de alarma del agua.
3. Conecte un tubo al tapón de drenaje.
4. Afloje el tapón de drenaje y vacíe el combustible a través del tapón de drenaje.
5. Desconecte los conectores eléctricos y retire el interruptor de alarma con una llave.
6. Retire la carcasa del filtro (1) con una llave de filtros (2).
7. Limpie la superficie de montaje de la carcasa del filtro. Coloque un nuevo filtro en la carcasa del filtro.

Componente	N° de referencia
Filtro de combustible 4JH4-TE/4JH4-HTE/4JH-DYE	129574-55711

8. Coloque el interruptor de alarma en el filtro de combustible. Aplique combustible limpio en las juntas del nuevo filtro de combustible.
9. Coloque la carcasa del filtro en el motor y apriétela manualmente hasta que la junta entre en contacto con la base. Utilice una llave de filtros y apriete 3/4 de vuelta de 11,8 a 15,6 N•m (104,4 a 138,1 pul.-lb).
10. Coloque la cubierta resistente al fuego y apriete la abrazadera del manguito.
11. Purgue el sistema de combustible. Consultar Purga del sistema de combustible en la página 40.
12. Deseche los residuos correctamente.

Cambio del aceite del motor y sustitución del filtro de aceite del motor

Consultar Cambio del aceite del motor y sustitución del filtro de aceite del motor en la página 79.

Cambio de aceite del inversor reductor marino y sustitución del filtro

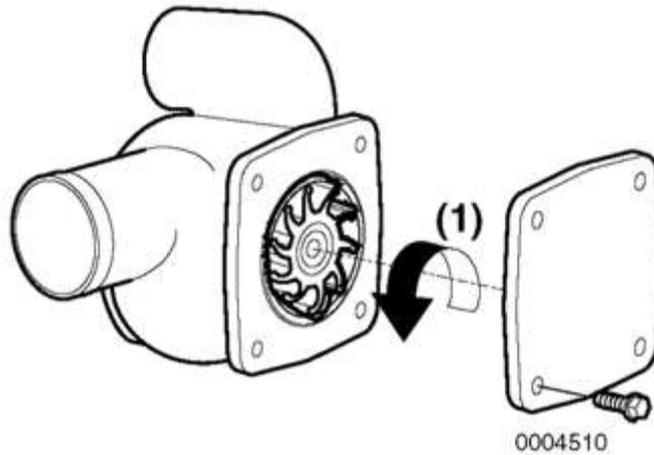
Consultar Cambio de aceite del inversor reductor marino y sustitución del filtro (si lo hay) en la página 80.

Comprobación o sustitución del rotor de la bomba de agua salada

1. Afloje los pernos de la cubierta lateral y extraígalas.
2. Inspeccione el interior de la bomba de agua salada con una linterna. Si encuentra alguno de los siguientes problemas, será necesario desmontarla y realizar su mantenimiento:
 - Las aspas del rotor están agrietadas o melladas. Hay aspas con el borde o la superficie deteriorados o rayados.
 - La placa de desgaste está dañada.
3. Si no se aprecian daños en el interior de la bomba, instale el anillo tórico y la cubierta lateral.
4. Si, durante el funcionamiento, sale continuamente gran cantidad de agua por la tubería de drenaje que hay bajo la bomba de agua salada, cambie el retén mecánico.

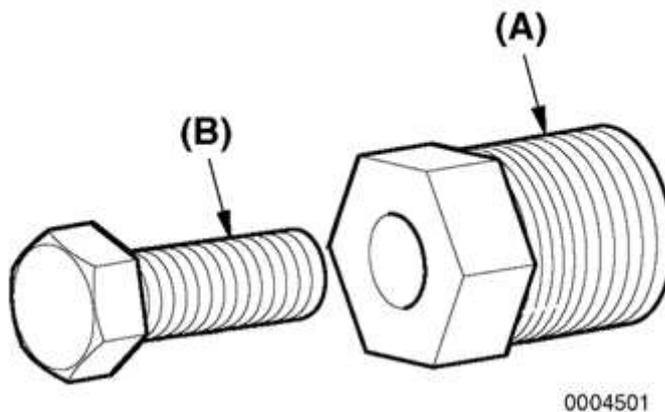
Recambio del rotor de la bomba de agua salada

El rotor debe cambiarse periódicamente (cada 1000 horas) aunque no esté dañado.



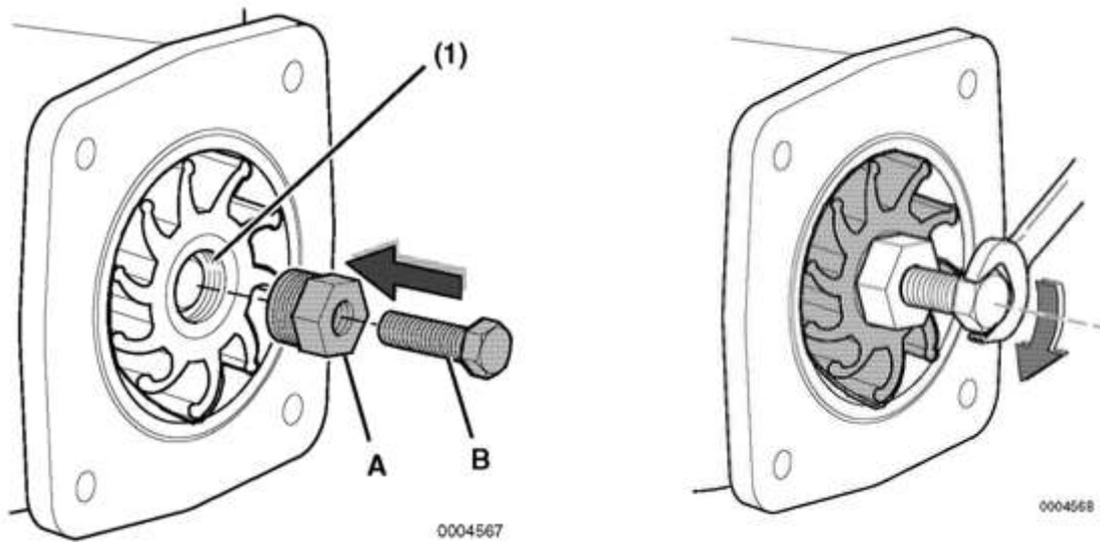
Hay dos tipos de herramientas de mantenimiento especiales para retirar el rotor:

Extractor A (estándar)
N.º de pieza 129671-92110



Extractor A	Tornillo extractor B
M18 x 1,5	M10 x 40 mm de largo

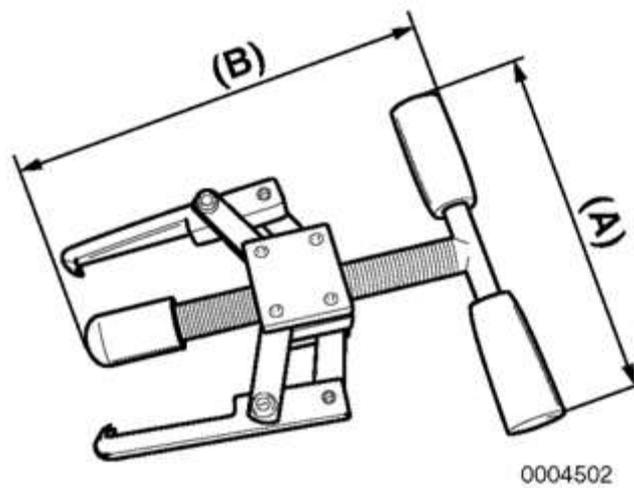
1. Retire la cubierta lateral de la bomba de agua salada.
2. Monte el extractor (A) en el rotor.
3. Gire el tornillo extractor (B) en sentido de las agujas del reloj para extraer el rotor del cuerpo de la bomba.



Nota: Al sustituir un rotor usado por uno nuevo, el rotor debe tener una rosca de M18 x 1,5 (1). Gire el lado de la rosca M18 del rotor hacia el lado de la cubierta e instálelo

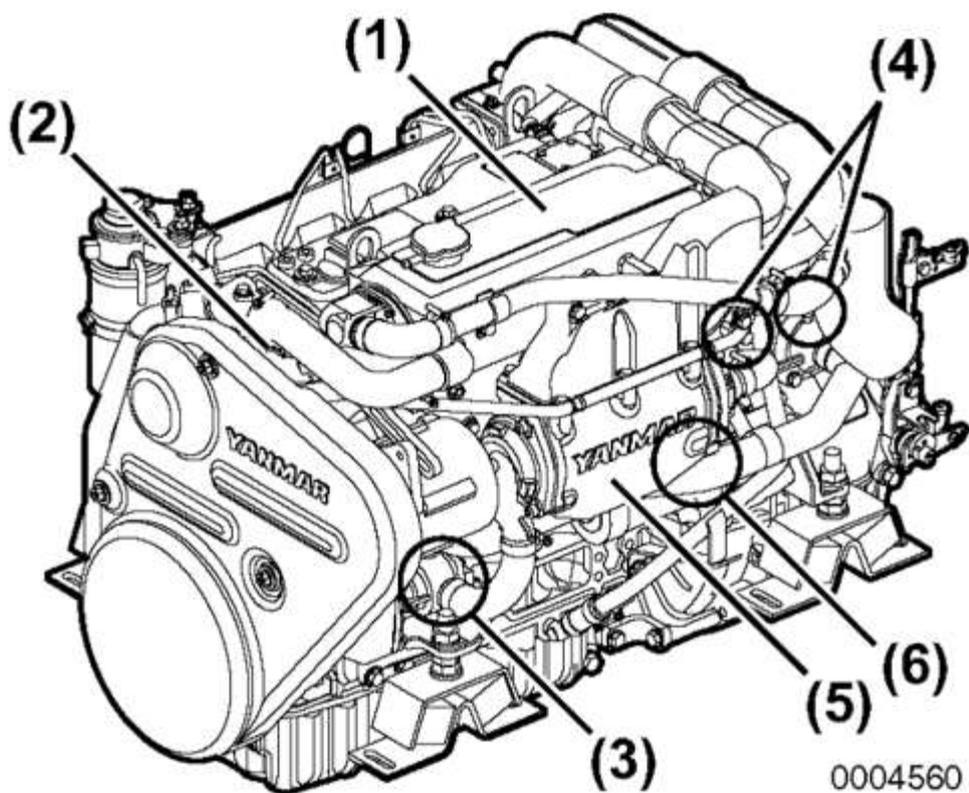
Extractor B (opcional)

N.º de pieza 129671-92100



A	B
110 mm (4,33")	140 mm (5,51")

Cambio del refrigerante



1 - Depósito de refrigerante (intercambiador de calor)

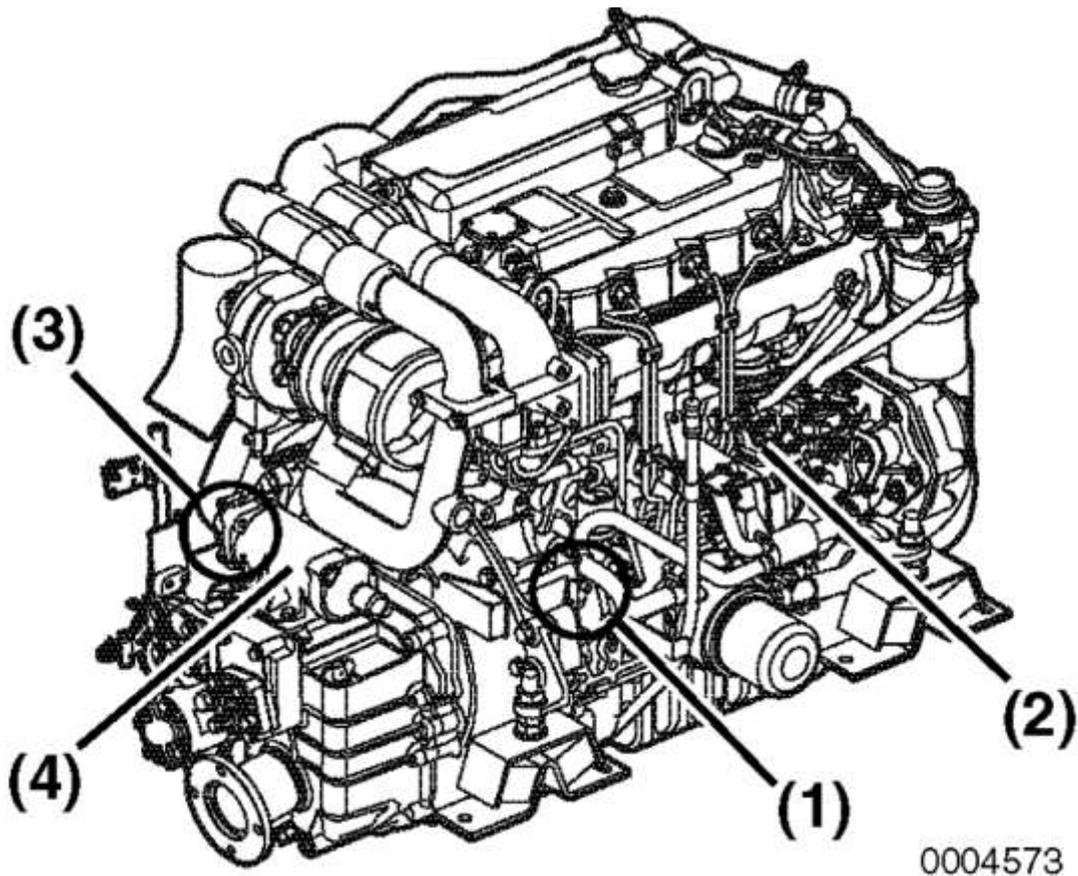
2 - Bomba de refrigerante

3 - Drenaje de agua salada de la cubierta de la bomba de agua salada

4 - Grifo de drenaje del refrigerante

5 - Intercooler

6 - Drenaje de agua salada de la cubierta de la bomba de agua salada



1 - Grifo de drenaje del refrigerante

2 - Bomba de combustible

3 - Grito de drenaje del agua salada

4 - Enfriador del inversor reductor marino

1. Abra todos los grifos de drenaje del refrigerante. Deje drenar completamente. Deseche los residuos correctamente.
2. Cierre todos los grifos de drenaje.
3. Llene el depósito de refrigerante y el depósito con el refrigerante adecuado.

Limpieza del silenciador de admisión (filtro de aire)

1. Desmonte el silenciador de admisión (filtro de aire).
2. Extraiga el elemento. Limpie el elemento y la carcasa con un detergente neutro.
3. Séquelo completamente y vuelva a instalarlo.

Limpieza del codo mezclador de gas de escape / agua

1. El codo mezclador está conectado al turbocompresor. En el codo se mezcla el gas de escape con agua de mar.
2. Extraiga el codo de mezcla.
3. Limpie los residuos y las incrustaciones del tubo de escape y de los conductos de agua salada.
4. Si el codo de mezcla está dañado, repárelo o cámbielo. Consulte a su concesionario o distribuidor autorizado de Yanmar Marine.
5. Inspeccione la junta y sustitúyala si es necesario.

Limpieza del turbocompresor

La contaminación del turbocompresor hace que se reduzcan las revoluciones y la potencia del motor.

Si se nota una caída significativa de la potencia del motor (10% o más), limpie el turbocompresor.

Esto debe realizarlo únicamente un técnico formado y cualificado. Consulte a su concesionario o distribuidor autorizado de Yanmar Marine.

Cada 500 horas de funcionamiento

Realice las operaciones de mantenimiento que se indican a continuación cada 500 horas o cada 2 años de operación, lo que suceda antes.

Sustitución del codo mezclador de gas de escape / agua

Cambie el codo de mezcla por otro nuevo cada 500 horas o cada 2 años, lo que suceda antes, aunque no se aprecien daños.

Cambio de los manguitos de gomas.

Cambie los manguitos de goma cada 2000 horas o cada 2 años, lo que suceda antes.

Cada 1000 horas de funcionamiento

Realice las operaciones de mantenimiento que se indican a continuación cada 1000 horas o cada 4 años de operación, lo que suceda antes.

- **Comprobación de la sincronización de inyección de combustible.**
- **Comprobación del patrón de pulverización de los inyectores.**
- **Recambio del rotor de la bomba de agua salada**

El rotor de la bomba de agua salada debe cambiarse cada 1000 horas, aunque no esté dañado.

- **Limpieza y comprobación de los conductos de agua salada**

Tras un uso prolongado, limpie los conductos de agua salada para eliminar residuos, incrustaciones, óxido y otros contaminantes que se acumulan en los conductos del agua de refrigeración.

Hacer clic en el siguiente enlace: **Información Técnica del Motor**

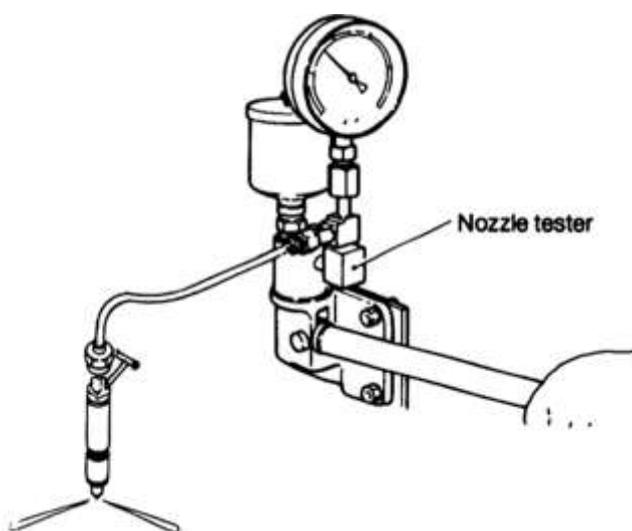
Yanmar 4JH-DTYE

Calibraciones para el motor Yanmar 4JH-DTYE

Calibración de presión de inyectores

Ajuste de la presión de apertura

Monte la boquilla de inyección de combustible en el probador de boquillas y use el mango para medir la presión inicial de la inyección. Si no está a la presión especificada, use las cuñas de ajuste para aumentar/disminuir la presión (tanto de tipo agujero como de pivote).



Presión inicial de inyección

Presión inicial de inyección	195 ~ 205 kg / cm ² (2773 ~ 2915 lb / in ²)
------------------------------	--------------------------------------------------------------------

Prueba de inyección

Después de ajustar la boquilla a la presión de arranque especificada, compruebe el estado de la pulverización de combustible y la estanqueidad del aceite del asiento.

1. Compruebe la sujeción del asiento.

Después de dos o tres inyecciones, aumente gradualmente la presión hasta 20 kg/cm²(284 lb/in²) antes de leer la presión inicial, mantenga la presión durante 5

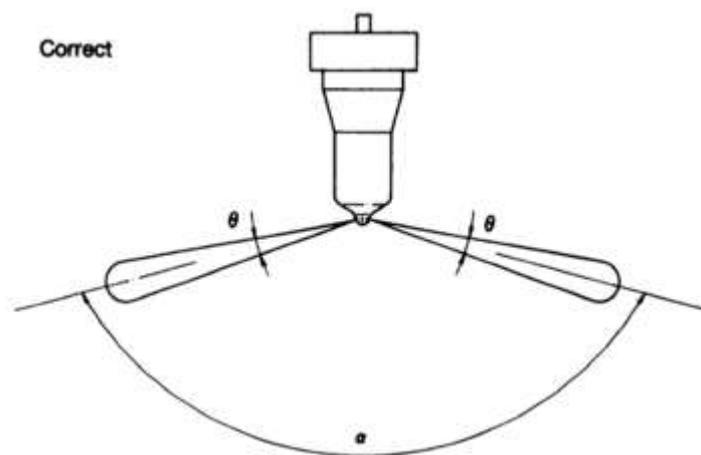
segundos y asegúrese de que no gotee en la punta de la boquilla. Pruebe la inyección con un probador de boquilla; vuelva a apretar y pruebe de nuevo si hay una fuga.

2. Condición de pulverización por inyección

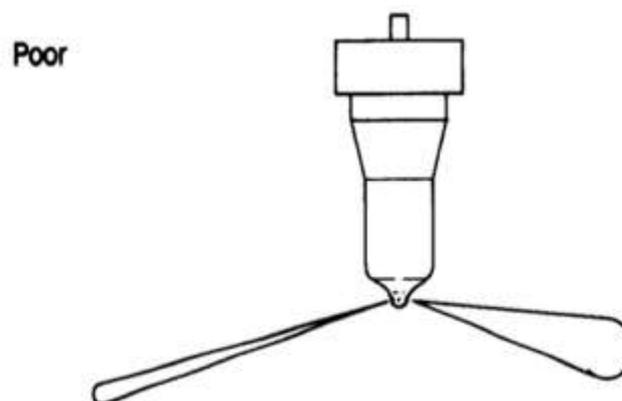
Accione la palanca del probador de boquillas una o dos veces por segundo y compruebe si hay una inyección anormal.

4) Boquillas tipo agujero Reemplace las boquillas tipo agujero que no cumplan con las siguientes condiciones:

- Ángulo de pulverización adecuado (θ).
- Ángulo de inyección correcto (α).
- Atomización completa del combustible.
- Inicio/parada rápida de la inyección.



La pulverización de cada orificio de boquilla es uniforme



- **Excesiva diferencia y ángulo de pulverización.**
- **Diferencia excesiva en el ángulo de inyección**

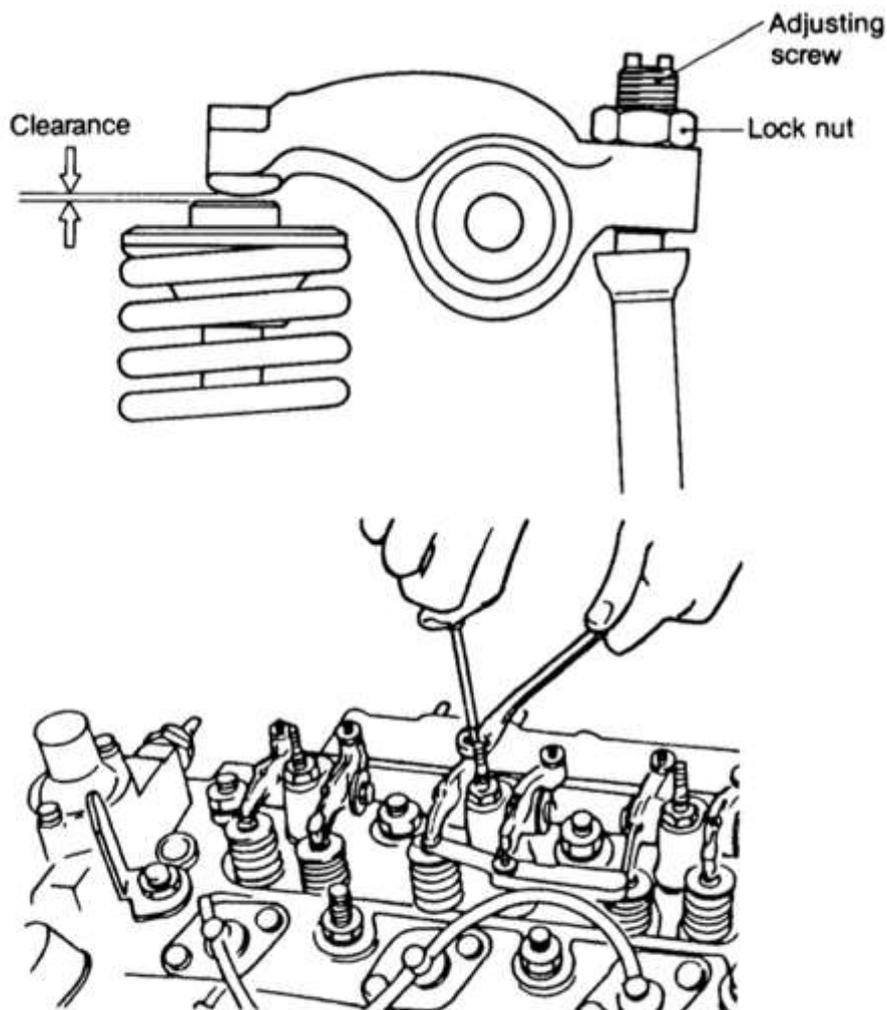
- Atomización incompleta

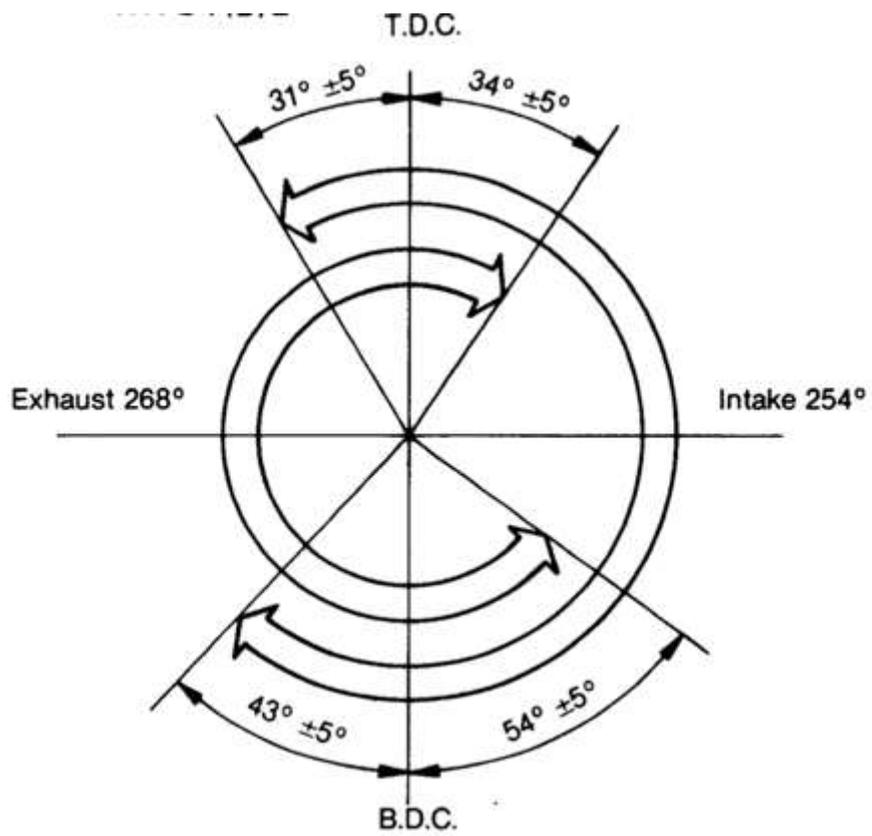
Calibración y ajuste de la separación de la cabeza de la válvula

- 1) Haga ajustes cuando el motor esté frío.

Espacio de admisión y cabezal de escape	0.2 mm (0.0079 in)
-----------------------------------------	---------------------------

- 2) Asegúrese de que los ángulos de apertura y cierre tanto para las válvulas de admisión como para las válvulas de escape estén comprobados cuando se desmonte el engranaje de distribución (el indicador en el volante se lee cuando la varilla de empuje gira el volante).



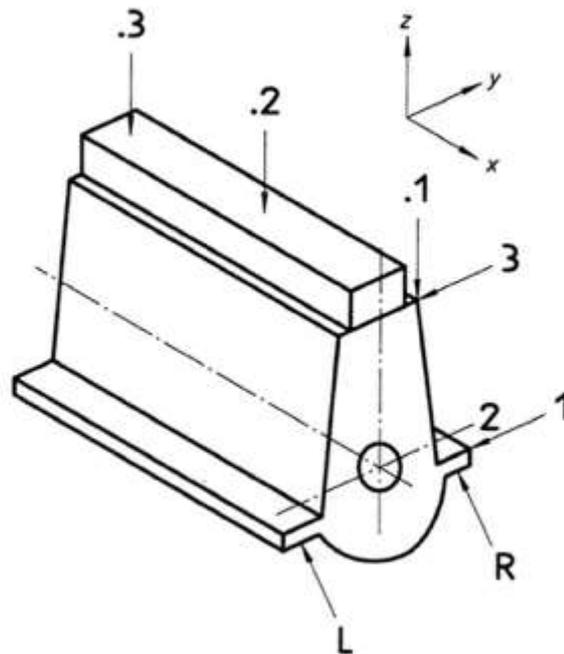


Válvula de admisión abierta	TDC	26° ~ 36°
Válvula de admisión cerrada	BDC	38° ~ 48°
Válvula de escape abierta	BDC	49° ~ 59°
Válvula de escape cerrada	TDC	29° ~ 39°

Vibración mecánica: Donde colocar el sensor de vibraciones según la norma ISO 10816-6

Los puntos de medición para pruebas de vibraciones en el motor Yanmar son las siguientes:

- 1) Zona de bancada (horizontal, vertical y axial).
- 2) Altura del cigüeñal (horizontal, vertical y axial).
- 3) Altura de la culata (horizontal, vertical y axial).



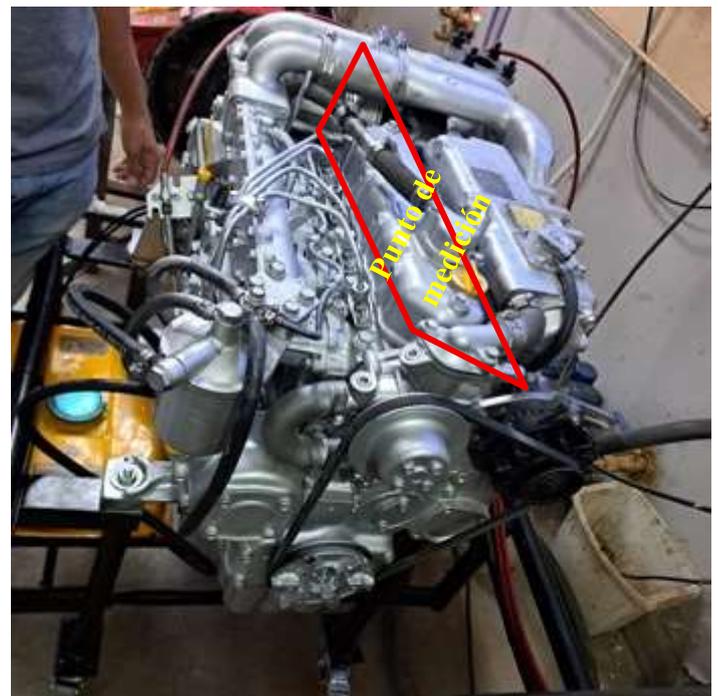
Clave	
Lados de la medición	L: Mano izquierda al mirar hacia la brida de acoplamiento R: Mano derecha al mirar hacia la brida de acoplamiento
Niveles de medición	1: Máquina final de montaje 2: Nivel del cigüeñal 3: Borde superior del marco
Puntos de medición relacionados con la longitud de la máquina	.1: Extremo de acoplamiento .2: Medio de la máquina .3: El extremo libre de la máquina

Termografía: Puntos críticos para la medición de temperatura con la cámara termográfica al motor Yanmar

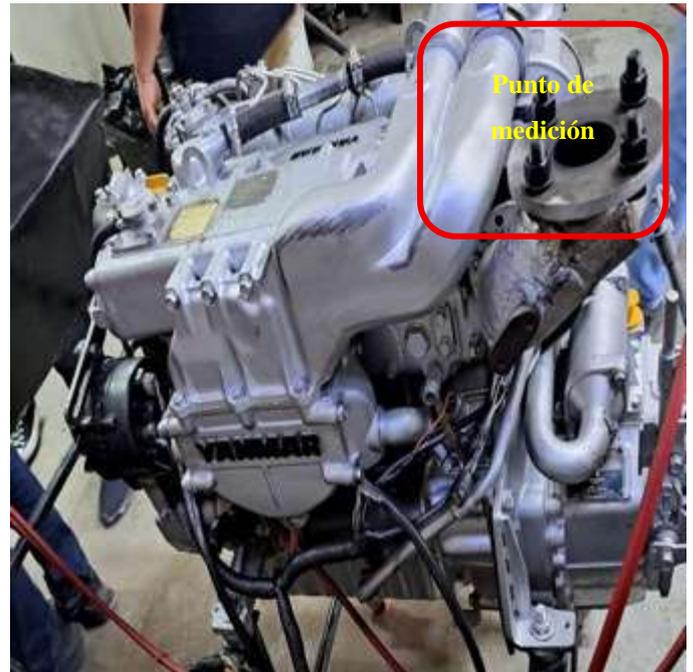
1) Bloques del cilindro.



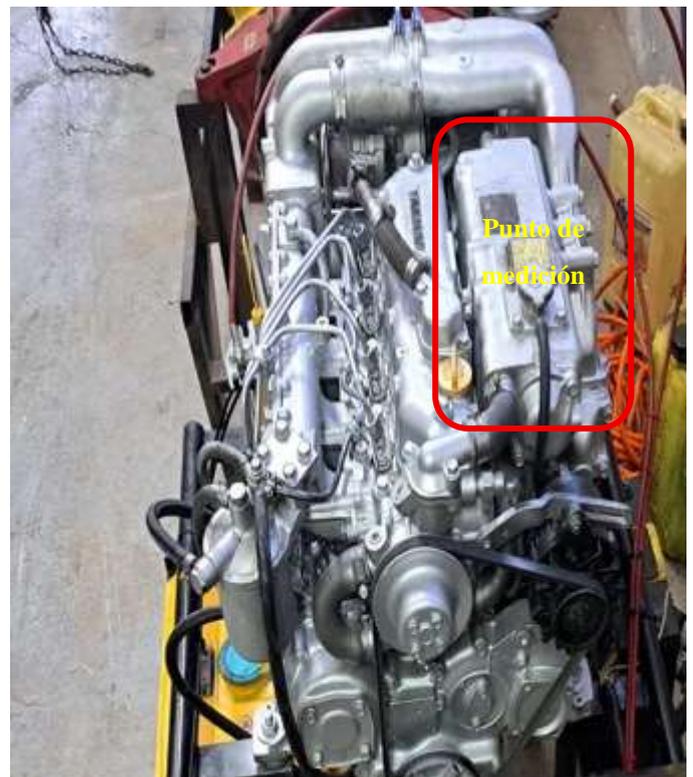
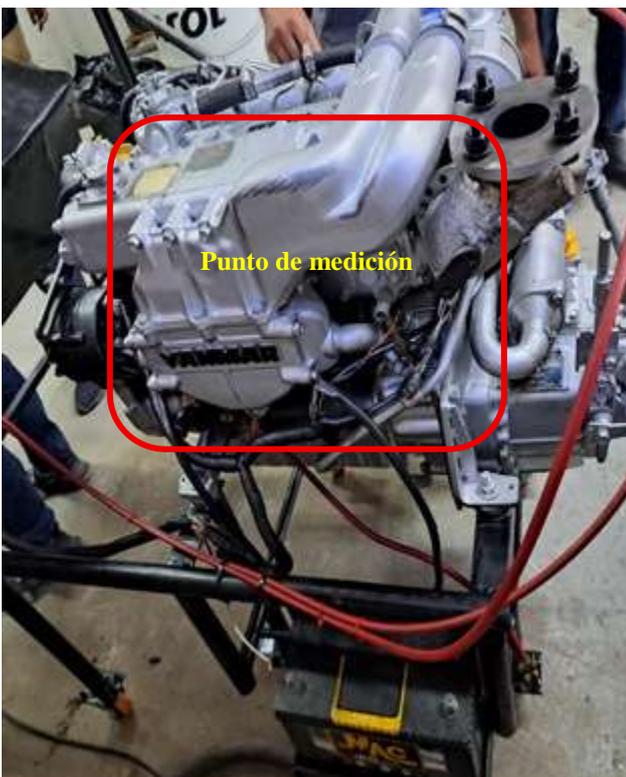
2) Culata.



3) Colector de escape



4) Sistema de enfriamiento





Uleam
UNIVERSIDAD LAICA
ELOY ALFARO DE MANABÍ

Historial de mantenimiento preventivo y correctivo

Fecha:

Formato N°: FIA-001

Nombre del equipo

Motor marino

Modelo

4JH-DIYE

Código

HP/KW de funcionamiento

60 HP

Marca

Yanmar

Cuenta con manual

Si

Mantenimiento preventivo

Actividad	Frecuencia	Materiales necesarios	Observaciones

Historial mantenimiento correctivo

Justificación del mantenimiento	Actividades realizadas	Daño encontrado	Materiales utilizados

Diagnóstico del estado actual de la maquinaria

Fecha	Estado actual de máquina

Elaborado:

Revisado: