



**ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE NAÚTICA, MÁQUINAS Y  
RADIOELECTRÓNICA NAVAL**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**PROTOCOLO Y ESTUDIO DEL MONTAJE DE UN CIGÜEÑAL A  
BORDO DE UN BUQUE MERCANTE CONVENCIONAL**

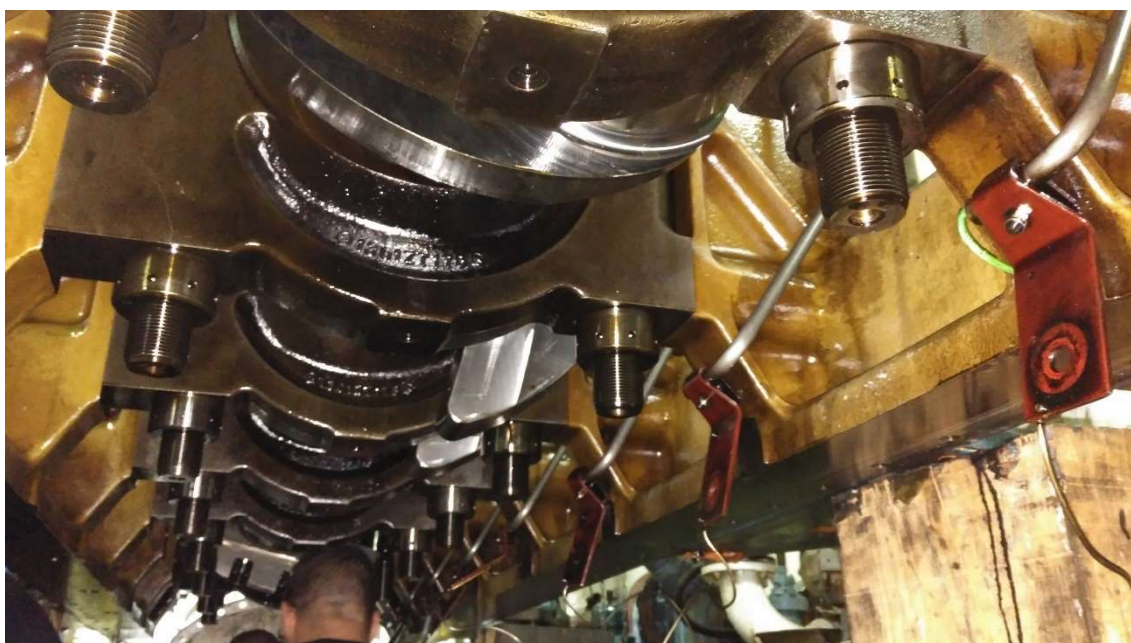
**Alejandro Ramos Quesada**

**JULIO 2017**

*“PROTOCOLO Y ESTUDIO DEL MONTAJE DE UN CIGÜEÑAL A BORDO DE UN BUQUE  
MERCANTE CONVENCIONAL”*

---

**PROTOCOLO Y ESTUDIO DEL MONTAJE DE UN  
CIGÜEÑAL A BORDO DE UN BUQUE MERCANTE  
CONVENCIONAL**



**Directores:**

Dr. D. Federico Padrón Martín

Dr. D. Alexis Dionis Melian

**Nombre:** Alejandro Ramos Quesada

**Grado:** Tecnologías Marinas

**Julio 2017**

*“PROTOCOLO Y ESTUDIO DEL MONTAJE DE UN CIGÜEÑAL A BORDO DE UN BUQUE  
MERCANTE CONVENCIONAL”*

---

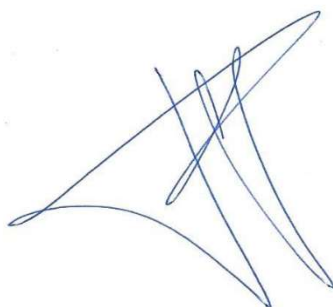
Dr. D. Federico Padrón Martín, profesor ayudante - doctor del área de los procesos de fabricación, perteneciente a la unidad departamental de ingeniería marítima de la Universidad de La Laguna. Certifica que:

D. Alejandro Ramos Quesada, ha realizado el trabajo fin de grado bajo mi dirección con el título:

***“Protocolo y estudio del montaje de un cigüeñal rectificado a bordo de un buque mercante convencional”***

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

En Santa Cruz de Tenerife a 17 de Julio de 2017



Fdo. Federico Padrón Martín

Director del TFG



Dr. D. Alexis Dionis Melián, profesor asociado del área de construcciones navales, perteneciente a la unidad departamental de ingeniería marítima de la Universidad de La Laguna. Certifica que:

D. Alejandro Ramos Quesada, ha realizado el trabajo fin de grado bajo mi dirección con el título:

***“Protocolo y estudio del montaje de un cigüeñal a bordo de un buque mercante convencional”***

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

En Santa Cruz de Tenerife a 17 de Julio de 2017

Fdo. Alexis Dionis Melián

Director del TFG





## **AGRADECIMIENTOS**

*En primer lugar y en especial, agradecer al Dr. D. Federico Padrón Martín y al Dr. D. Alexis Dionis Melian por los conocimientos aportados y la gran ayuda en la realización de este Trabajo de Fin de Grado.*

*Al profesor D. Servando Luis Leon por los conocimientos y las opiniones técnicas que me ha aportado. Y en general a todos y cada uno de los profesores que han formado parte de mi formación a lo largo de mis años de formación.*

*A la empresa FEROTHER S.L. y a todo su equipo de trabajadores, que me transmitieron muchos conocimientos y sobre todo me demostraron lo apasionante que puede llegar a ser este oficio. A Juan Carlos mi tutor de prácticas, por el tiempo y las ganas de enseñar invertidas en mi estancia en las prácticas. Y en especial a Abraham, el ingeniero encargado del trabajo del que trata este Trabajo de Fin de Grado.*

*Por último, me gustaría agradecer a toda mi familia el apoyo y la confianza que han depositado en mi a lo largo de mis estudios.*

**MUCHAS GRACIAS.**



## **INDICE**

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	17
<b>II. OBJETIVOS</b> .....	23
<b>III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES</b> .....	27
3.1 HISTORIA DE LA NAVIERA .....	29
3.2 EL BUQUE .....	33
3.2.1 Distribución del buque .....	35
3.3 CARACTERISTICAS MOTORES WÄRTSILA 8L26 .....	39
3.3.1 Descripción de los sistemas del motor .....	42
3.4 EXPLICACION DE LA AVERIA .....	49
3.4.1 El concepto avería .....	49
3.4.2 Mantenimiento de un motor marino .....	51
3.4.3 Propuesta de reparación .....	53
3.4.4 Normativa .....	55
<b>IV. METODOLOGÍA</b> .....	57
4.1 Documentación bibliográfica .....	59
4.2 Metodología de trabajo de campo .....	59
4.3 Marco referencial .....	59
<b>V. RESULTADOS</b> .....	61
5.1 ETAPAS DE LA AVERIA HASTA EL CAMBIO DEL CIGÜEÑAL .	63
5.2 TRABAJOS REALIZADOS DURANTE LA VARADA .....	65
5.2.1 ¿Qué es un Overhaul? .....	66
5.2.2 Desmontaje del tren alternativo .....	72
5.2.3 Sustitución del Damper Antivibración .....	80

5.2.4	Partes de un cigüeñal y toma de flexiones .....	83
5.2.4.1	Partes de un cigüeñal .....	83
5.2.4.2	Toma de flexiones .....	85
5.3	DESCRIPCION DEL PROCESO DE CAMBIO DELCIGÜEÑAL .....	88
5.4	ESQUEMA Y EXPLICACION DE LAS ETAPAS DE LA MANIOBRA DE CAMBIO DE CIGÜEÑAL .....	99
5.5	MONTAJE DEL MOTOR .....	106
5.5.1	Sustitución de los elementos dañados .....	108
5.5.2	Montaje de tacos de bancada .....	108
5.5.3	Toma de flexiones y alineado .....	111
5.6	PRUEBAS DE MAR .....	114
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>115</b>
<b>VII.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>119</b>

## **INDICE DE ILUSTRACIONES**

<i>Ilustración 1.</i> Detalle del buque ASTELENA .....	29
<i>Ilustración 2.</i> Detalle del buque Volcán de Yaiza .....	30
<i>Ilustración 3.</i> Detalle del buque Volcán de Tahiche .....	31
<i>Ilustración 4.</i> Detalle del buque Volcán de Tindaya .....	33
<i>Ilustración 5.</i> Vista lateral del buque .....	36
<i>Ilustración 6.</i> Plano Cubierta 5 .....	36
<i>Ilustración 7.</i> Plano Cubierta 4 .....	37
<i>Ilustración 8.</i> Plano cubierta 3 .....	37
<i>Ilustración 9.</i> Plano Cubierta Principal o cubierta 2 .....	38
<i>Ilustración 10.</i> Plano Cubierta 1 .....	38
<i>Ilustración 11.</i> Detalle del motor principal de babor del buque .....	39
<i>Ilustración 12.</i> Corte lateral motor Wärtsila 8L26 .....	40
<i>Ilustración 13.</i> Detalle motor Wärtsila 6L26 .....	40
<i>Ilustración 14.</i> Esquema motor 8L26 .....	41
<i>Ilustración 15.</i> Vista desde lumbrera motor 8L26 .....	42
<i>Ilustración 16.</i> Detalle del cigüeñal .....	43
<i>Ilustración 17.</i> Detalle de la biela .....	44
<i>Ilustración 18.</i> Detalle Camisas .....	44
<i>Ilustración 19.</i> Detalle de las culatas montadas, vista superior del motor .....	45
<i>Ilustración 20.</i> Detalle del árbol de levas .....	46
<i>Ilustración 21.</i> Detalle bomba de inyección .....	47
<i>Ilustración 22.</i> Logo empresas involucradas .....	55
<i>Ilustración 23.</i> Extracción tren alternativo .....	66

<i>Ilustración 24.</i>	<i>Vista superior del motor con los trenes alternativos desmontados .....</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 25.</i>	<i>Esquema de la sala de motores principales .....</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 26.</i>	<i>Regulador del motor principal .....</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 27.</i>	<i>Detalle turbocompresor .....</i>	<i>69</i>
<i>Ilustración 28.</i>	<i>Detalle bomba de inyección .....</i>	<i>69</i>
<i>Ilustración 29.</i>	<i>Detalle cremallera de la bomba de inyección .....</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 30.</i>	<i>Sección del árbol de levas .....</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 31.</i>	<i>Detalle de balancines .....</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 32.</i>	<i>Detalles útiles empleados y proceso de desmontaje de culatas .....</i>	<i>72</i>
<i>Ilustración 33.</i>	<i>Gatos para desmontaje de tuercas de presión .....</i>	<i>73</i>
<i>Ilustración 34.</i>	<i>Extracción de culatas .....</i>	<i>73</i>
<i>Ilustración 35.</i>	<i>Útiles desmontaje de válvulas .....</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 36.</i>	<i>Detalle de la biela y el procedimiento de desmontaje .....</i>	<i>75</i>
<i>Ilustración 37.</i>	<i>Tuercas de presión .....</i>	<i>75</i>
<i>Ilustración 38.</i>	<i>Cabeza de biela desmontada .....</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 39.</i>	<i>Detalle tapillas dañadas .....</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 40.</i>	<i>Esquema de la maniobra preparada para extraer elementos a la cubierta principal .....</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 41.</i>	<i>Detalle útil extracción de camisas .....</i>	<i>78</i>
<i>Ilustración 42.</i>	<i>Útil extracción de camisas .....</i>	<i>78</i>
<i>Ilustración 43.</i>	<i>Maniobra extracción camisas .....</i>	<i>79</i>
<i>Ilustración 44.</i>	<i>Juntas y sellador de las camisas .....</i>	<i>79</i>
<i>Ilustración 45.</i>	<i>Desmontaje del Damper Antivibración .....</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 46.</i>	<i>Útiles empleados para la extracción del Damper Antivibración .....</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 47.</i>	<i>Detalle Damper Antivibración .....</i>	<i>81</i>

<i>Ilustración 48.</i> Damper Antivibración desmontado .....	82
<i>Ilustración 49.</i> Vista desde la lumbrera del motor en la cubierta principal del montaje del motor .....	82
<i>Ilustración 50.</i> Detalle del micrómetro digital .....	85
<i>Ilustración 51.</i> Detalle de apertura o cierre del cigüeñal .....	85
<i>Ilustración 52.</i> Posición del palpador del micrómetro en las guitarras del cigüeñal .....	86
<i>Ilustración 53.</i> Toma de flexiones .....	86
<i>Ilustración 54.</i> Tabla ejemplo de la deflexión de un cigüeñal .....	87
<i>Ilustración 55.</i> Ubicación del Muelle Primo de Rivera .....	88
<i>Ilustración 56.</i> Detalle de los daños en la biela .....	89
<i>Ilustración 57.</i> Desmontaje y extracción del volante de inercia .....	90
<i>Ilustración 58.</i> Operarios aflojando las tuercas de presión .....	91
<i>Ilustración 59.</i> Daños en muñequilla del cigüeñal y tapillas de biela .....	91
<i>Ilustración 60.</i> Detalle de la maniobra de izado del bloque .....	93
<i>Ilustración 61.</i> Colocación de los útiles de izado en el bloque .....	94
<i>Ilustración 62.</i> Detalles de útiles empleados para el izado .....	94
<i>Ilustración 63.</i> Detalle de los tacos del bloque motor .....	95
<i>Ilustración 64.</i> Bloque motor aligerado para el izado .....	95
<i>Ilustración 65.</i> Izado del bloque .....	96
<i>Ilustración 66.</i> Cigüeñal y tuercas de asiento de bancada .....	97
<i>Ilustración 67.</i> Detalle de las tuercas de presión del asiento de bancada .....	98
<i>Ilustración 68.</i> Bloque izado .....	100
<i>Ilustración 69.</i> Maniobra de arriado del cigüeñal .....	101
<i>Ilustración 70.</i> Maniobra de extracción del cigüeñal averiado .....	102
<i>Ilustración 71.</i> Extracción del cigüeñal por la lumbrera de la cubierta principal .....	103

<i>Ilustración 72.</i> Maniobra de introducción del cigüeñal en el bloque .....	104
<i>Ilustración 73.</i> Maniobra de introducción del cigüeñal en el bloque 2 .....	105
<i>Ilustración 74.</i> Apriete de las tuercas de presión de los asientos de bancada .....	106
<i>Ilustración 75.</i> Elementos reparados y acondicionados en la cubierta principal .....	107
<i>Ilustración 76.</i> Tacos de bancada .....	110
<i>Ilustración 77.</i> Esquema de taqueado .....	111
<i>Ilustración 78.</i> Flexiones nominales del motor Wärtsila 8L26 .....	111
<i>Ilustración 79.</i> Sistema de alineación láser, empleado para alinear el motor .....	113



# **I. INTRODUCCION**



## I.- INTRODUCCION

Este trabajo de fin de grado nace de mi experiencia durante mis prácticas en la empresa de reparaciones navales FEROTHER. Durante las cuales tuve la suerte de poder asistir y observar el procedimiento del cambio de un cigüeñal rectificado de uno de los motores principales del buque Volcán de Tindaya. Aspecto no muy habitual en nuestro mundo profesional. De ahí mi interés, que he depositado en la ejecución de este trabajo y que me han llevado a realizar este trabajo de fin de grado sobre esta temática.

En el capítulo *objetivos* me planteo los objetivos específicos que me han motivado para el desarrollo de este TFG.

En el capítulo *Revisión y Antecedentes* he recopilado información sobre la historia de la naviera a la cual pertenece el buque, además de una descriptiva del buque que he tomado como marco referencial de este trabajo de fin de grado. En este apartado he incluido los planos del buque, así como las características técnicas de los motores en los que se centró el trabajo. También he desarrollado una visión centralizada comenzando con el concepto de la avería que se dio a bordo, así como la propuesta de la reparación.

En el capítulo *metodología* he incluido tres apartados, documentación bibliográfica, metodología del trabajo de campo y el marco referencial. Sobre este marco referencial comentar que la operación de cambio de cigüeñal ha sido el buque “Volcan de Tindaya”.

En el capítulo *resultados* he realizado una descripción por etapas del proceso de sustitución de un cigüeñal de un motor explicando cada una de las mismas y añadiendo fotografías propias de este trabajo para que el lector tenga una visión específica y global del proceso. De tal manera que hemos intentado plasmar y señalar una metodología donde se visualiza paso a paso el cambio del cigüeñal.

En el sexto capítulo de este TFG *conclusiones*, he plasmado las conclusiones que se han obtenido de la doble experiencia tanto la profesional como la académica en el desarrollo de este TFG.

En el capítulo bibliografía aporta manuales y referencias web (Webgrafía) en relación al contenido de este TFG.



## ABSTRACT

This essay of final project degree comes out of my experience during my practices in the naval construction, repair and maintenance FEROHER. During the practices, I had the opportunity of being witness of a process of changing a crankshaft of one of the main end of the ship “Volcán de Tindaya”. This is an important aspect in our professional task, consequently I paid special attention to this realization, it was very interesting and educational, and led me to do my final project in this matter.

In the chapter of *Objectives*, I planned the specific objectives that motivated me to do this TFG.

In chapter of *Revision and antecedents*, I have compiled information on the history of the shipping company to which the ship belongs, in addition to a descriptive of the ship that I have taken as a frame of reference for this work. In this section, I have included the drawings of the ship, and the technical characteristics of the engines of the ship on which work was focused. A global vision has also been developed, beginning with the concept of breakdown was given on board, as well as the proposed repair.

In chapter of *Methodology*, I have included three points bibliographic documentation, methodology in field research and a referential guide. On this frame of reference to comment that the operation of crankshaft has been the ship "Volcán de Tindaya".

In the chapter of *Achievements*, I make a description by phases of the process of crankshaft change, giving explanation of each phase and adding my own pictures so that the reader can have a specific and global vision of the process, therefore we tried to capture and create a methodology to be able visualize the process step by step.

In the chapter of *Conclusion*, I have included a completion obtained from the double experience professional and academic.

In the last chapter of *Bibliography*, I have provided manuals and references (Webgraphic) in relation to the content of this TFG.



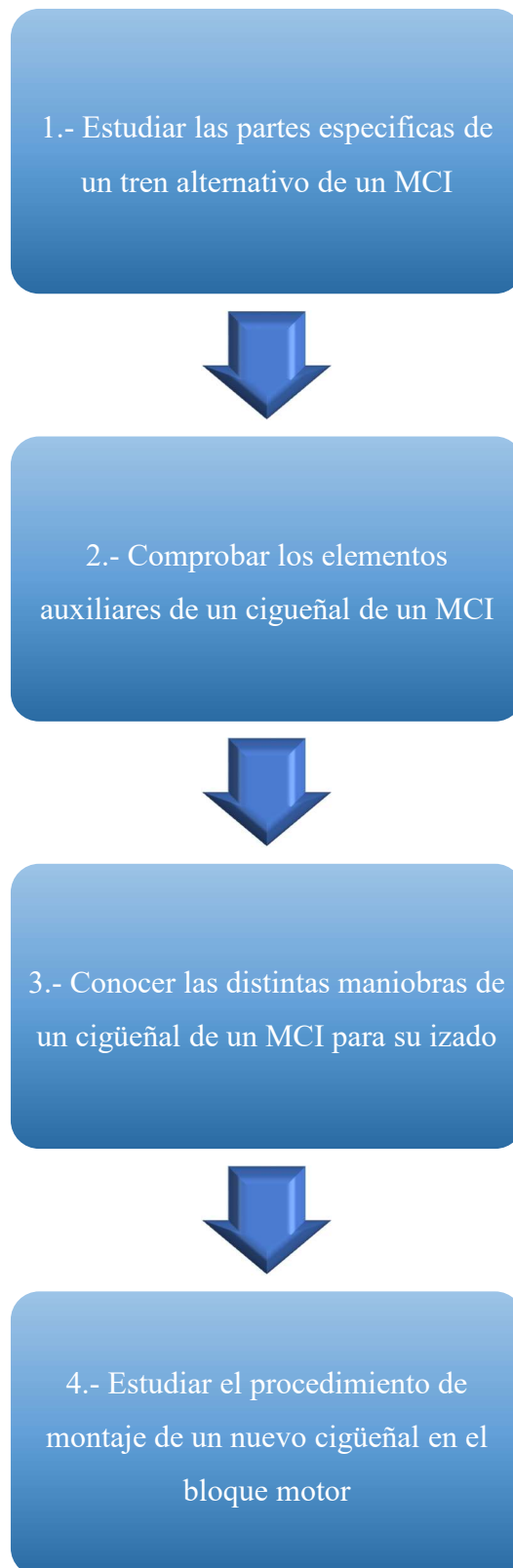
## **II. OBJETIVOS**





## **II. OBJETIVOS**

Los objetivos que se pretenden alcanzar con este TFG son los siguientes:





# **III. REVISION Y ANTECEDENTES**



## III. REVISION Y ANTECEDENTES

### 3.1 Historia de la naviera

Naviera Armas o Antonio Armas Curbelo S.A. es una compañía fundada por Antonio Armas Curbelo en 1941, en la isla de Lanzarote. Su labor en ese momento era el transporte de mercancías y sal, contaba con una flota de barcos de casco de madera, propulsados a vela, el primero de ellos fue el ASTELENA, adquirido en septiembre de 1941, un pequeño pailebote, con el que inició su carrera como armador, y con el que se realizaba el transporte de sal desde las salinas de Janubio y de Arrecife, de la que fue propietario, hasta los mercados de Fuerteventura y Gran Canaria.



*Ilustración 1. Detalle del buque ASTELENA. Fuente: [1]*

En 1942 el crecimiento de su actividad le obligó a trasladarse a Las Palmas de Gran Canaria, donde abrió su primera oficina comercial. Su segundo buque lo adquirió en octubre de 1944, un pailebote llamado RAPIDO, ese mismo año comenzó sus vínculos con el puerto de Santa Cruz de Tenerife. En 1954 comenzó a conectar Santa Cruz de La Palma, y otros puertos palmeros, transportando principalmente piedra de cal, varas y estacones.

Con el paso del tiempo el negocio fue creciendo adquiriendo nuevos buques. La consiguiente evolución tecnológica Armas Curbelo fue incorporando a su flota buques más modernos, con casco de acero y propulsión diésel y máquinas de vapor, con estos avances la compañía expandió su actividad comercial fuera del ámbito insular, consiguiendo obtener protagonismo con nuestro continente vecino África, concretamente en la antigua provincia del Sahara español. Antonio Armas Curbelo se retira definitivamente del negocio en 1973, y ocupa su puesto su hijo, Antonio Armas Fernández, actual presidente de la empresa, pionero en la introducción de buques de carga rodada en Canarias, en 1975, con la adquisición de dos barcos menores, el Volcán de Yaiza y Volcán de Tahiche, que navegaron en las líneas interinsulares.



*Ilustración 2. Detalle del buque Volcán de Yaiza. Fuente: [2].*



*Ilustración 3. Detalle del buque Volcán de Tahiche. Fuente: [2].*

A partir de los años 90, la compañía sufre un cambio significativo al apostar por el transporte de carga y pasaje, adquiriendo en 1995 los ferrys construidos en Vigo, el Volcán de Tauce y el Volcán de Tejada, dedicados exclusivamente al transporte interinsular. Esta adquisición dio paso a un plan de renovación de la flota, bautizado como Plan de Flota 2003/2006. Adquiriendo una serie de buques a lo largo de estos años:

- Volcán de Tindaya, en 2003 y donde se centrará este proyecto, un pequeño ferry que uniría las islas de Fuerteventura y Lanzarote.
- Volcán de Tamasite, en 2004, que une el puerto de Morro Jable de Fuerteventura y el Puerto de La Luz de Las Palmas de Gran Canaria.
- Volcán de Timanfaya, en 2005, que navegaba entre las islas de Tenerife, Gran Canaria y Lanzarote.
- Volcán de Taburiente, en 2006, encargado de cubrir la línea del puerto de San Sebastián de La Gomera y Santa Cruz de La Palma.
- Volcán de Tamadaba, en 2007, que sustituyó al Volcán de Timanfaya en la línea que este realizaba, permitiendo así que este último solo se encargara de unir el puerto de La Luz en Las Palmas de Gran Canaria y el Puerto de Santa Cruz de Tenerife.

- Volcán de Tijarafe, en 2008, que reforzara la ruta del Volcán de Timanfaya, además de una nueva ruta que llegara hasta el puerto de Funchal en la isla de Madeira y Portimao en el Algarve, Portugal.

En el año 2011 la Naviera adquiere dos nuevos buques, el Volcán del Teide, un buque con el que abriría nuevas líneas, tanto en Canarias como en la Península Ibérica. Este se encargará de unir Las Palmas de Gran Canaria con Tenerife y Huelva. El Volcán de Tinamar, su buque gemelo, adquirido junto con el Volcán del Teide, se ocuparía de la ruta del Volcán de Tijarafe, hasta que en 2012 esta línea desaparece por problemas con las entidades portuarias de Madeira. Y por último un buque tipo Con-Ro, llamado Volcán de Tenegua, que cubriría la línea Canarias – Sevilla.

Con estos nuevos buques la naviera decide abrir nuevas rutas, destinando para ello al Volcán de Timanfaya en la línea Motril (Granada) con Melilla, hasta 2012, que se decide destinar a esta línea al Volcán de Tinamar, debido a los problemas con las entidades madeirenses. Se recupera así al Volcán de Timanfaya para las líneas insulares en Canarias. Además de la línea Motril – Melilla, se abre otra nueva ruta con Marruecos, concretamente con el puerto de Alhucemas, uniendo Motril – Alhucemas, destinando para ello al buque Volcán de Tejada, que posteriormente se vendería a Jordania en noviembre de 2012, sería su buque gemelo, el Volcán del Tauce el que terminaría cubriendo esta línea y abriendo otra nueva, Motril – Nador (Marruecos).

Al ver el éxito de las líneas del estrecho la Naviera decide en 2013 volver a mejorar las líneas, retornando de nuevo al Volcán del Tauce a su ruta original Morro Jable – puerto de La Luz, y envía en su lugar al Volcán de Tamasite, un buque de mayor capacidad. El Volcán de Timanfaya, se queda con la ruta Santa Cruz de Tenerife – Morro Jable.

En 2015 se produce una nueva adquisición en la Naviera, el buque Volcán de Tirajana, el primer catamarán de la compañía, destinado a cubrir originalmente la línea Agaete (Gran Canaria) – Santa Cruz de Tenerife, aunque finalmente se encargó de la ruta que une el puerto de El Hierro con el de Santa Cruz de Tenerife.

La última adquisición de la flota ha sido en 2017, se trata del buque Volcán de Teno, anteriormente llamado Millenium, perteneciente a la Naviera griega Hellenic Seaways. Se trata de un buque tipo catamarán, similar al Volcán de Tirajana, que se encargara de cubrir la ruta entre Motril (Granada) Melilla.



## 3.2 El buque

El buque a tratar en este proyecto es el Volcán de Tindaya, un ferry, construido el 30 de enero de 2003 en los astilleros Hijos de J. Barreras en Vigo y entregado a Naviera Armas, Este buque se encarga de la ruta que une las islas de Fuerteventura en el puerto de Corralejo con Lanzarote en el puerto de Playa Blanca, esta ruta dura alrededor de 30 minutos y la realiza 14 veces al día, su nombre viene dado por una conocida montaña de la isla majorera, situada en el municipio de La Oliva.



Ilustración 4. Detalle del buque Volcán de Tindaya. Fuente: [3].

A continuación, se datarán algunas de las características del buque [4] [5]:

<b>Clase</b>	
<b>Indicativo</b>	ECCK
<b>Clase</b>	Buque Ro – Pax
<b>Construcción</b>	30 de enero 2003
<b>Sociedad de clasificación</b>	Bureau Veritas
<b>Numero IMO</b>	9268411
<b>Puerto de matricula</b>	Las Palmas de Gran Canaria

*“PROTOCOLO Y ESTUDIO DEL MONTAJE DE UN CIGÜEÑAL A BORDO DE UN BUQUE  
MERCANTE CONVENCIONAL”*

<b>Dimensiones y pesos</b>	
<b>Eslora total (Loa)</b>	78.1 m
<b>Eslora entre perpendiculares (Lpp)</b>	65.5 m
<b>Manga máxima</b>	15.5 m
<b>Calado</b>	3.3 m (max)
<b>Puntal de trazado</b>	4.80 m
<b>Arqueo bruto</b>	3715
<b>Peso muerto</b>	420 Tm

<b>Capacidad de carga</b>	
<b>Metros lineales de carga</b>	125 m
<b>Capacidad de vehículos</b>	120
<b>Capacidad de pasaje</b>	700

<b>Capacidad de tanques</b>	
<b>Fuel – oil</b>	170 m <sup>3</sup>
<b>Gas – oil</b>	26 m <sup>3</sup>
<b>Lubricante</b>	17 m <sup>3</sup>
<b>Agua dulce</b>	25 m <sup>3</sup>
<b>Lastre</b>	350 m <sup>3</sup>

<b>Velocidad</b>	
<b>En servicio</b>	16.2 nudos
<b>Máxima</b>	17 nudos
<b>Consumo</b>	7.200 l/h

En cuanto a la planta propulsora del buque encontramos 2 motores principales de 4 tiempos, contruidos por Wärtsila, modelo 8L26, con una potencia de 2.720 kW cada uno, los que dotan al barco de una potencia de unos 5.440 kW (7.295 cv) a unas 1.500 rpm. Estos motores transmiten su potencia a dos hélices de paso variable que giran a unas 315 rpm. Además, cuenta con otros 2 motores auxiliares de 4 tiempos, con una potencia de 550 kW cada uno. Y dos hélices de proa de 330 kW.

### **3.2.3 Distribución**

El barco cuenta con 5 cubiertas, una de ellas destinadas a la sala de máquinas, estas vienen detalladas en los siguientes planos:

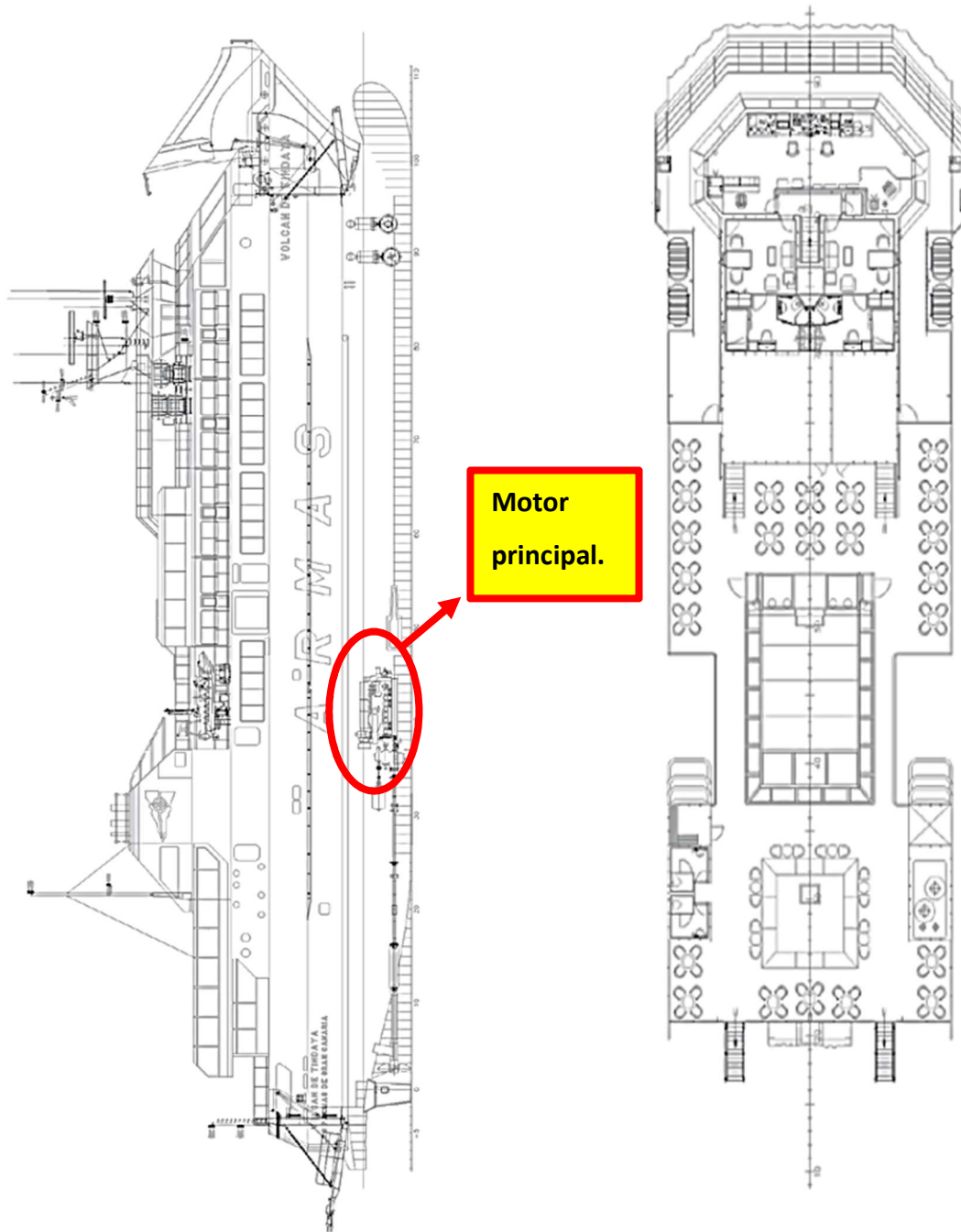


Ilustración 5. Vista lateral del buque. Fuente: [4]

Ilustración 6. Plano Cubierta 5. Fuente: [4].

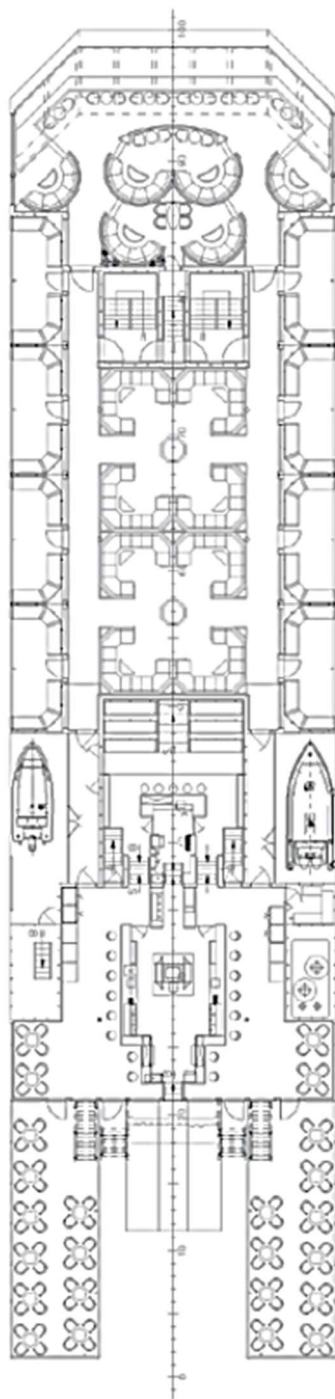


Ilustración 7. Plano Cubierta 4. Fuente: [4].



Ilustración 8. Plano cubierta 3. Fuente: [4].

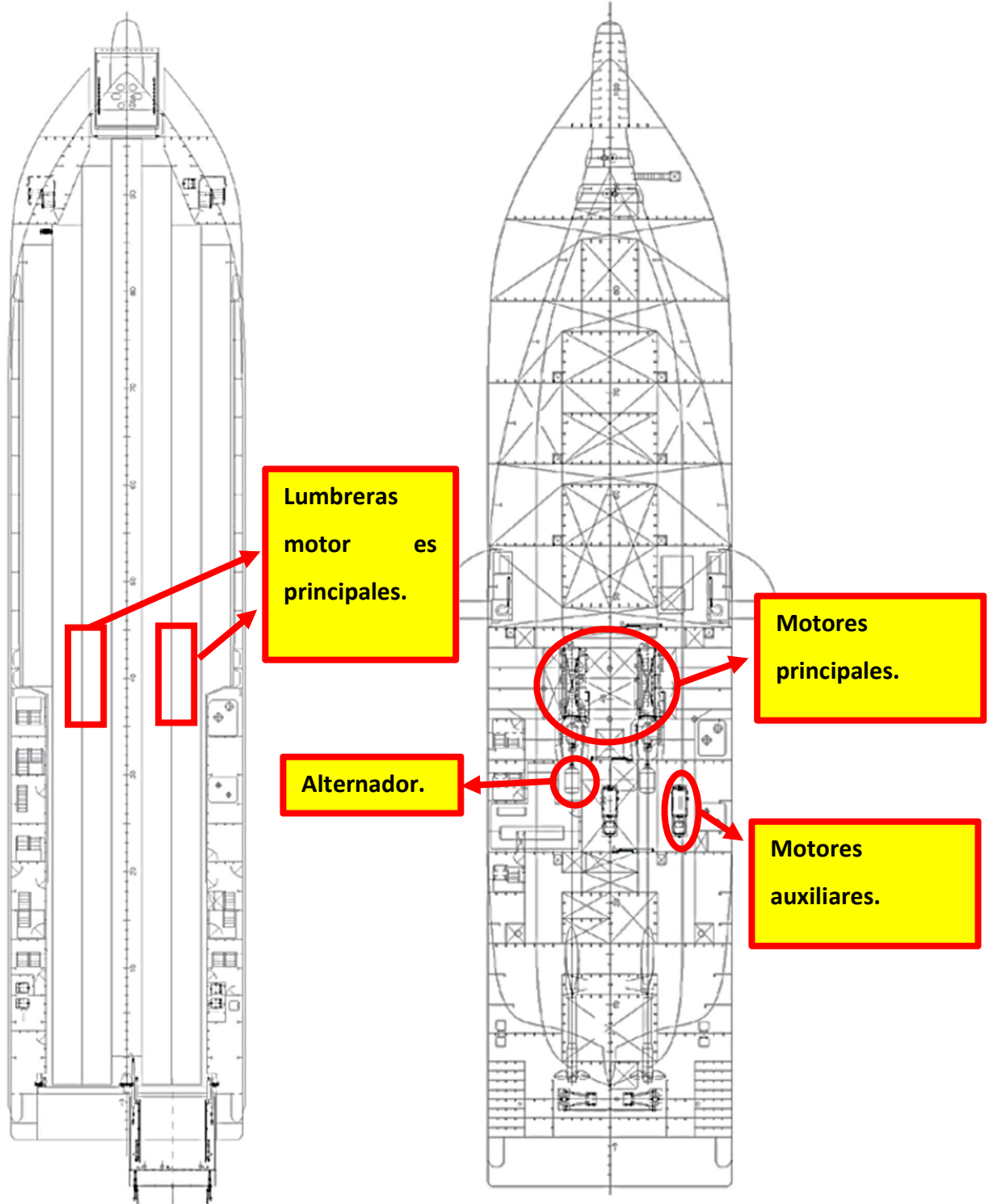


Ilustración 9. Plano Cubierta Principal o cubierta 2. Fuente: [4].

Ilustración 10. Plano Cubierta 1. Fuente: [4].

### 3.3 Características de los motores Wärtsilä 8L26

El buque como se comentó anteriormente, cuenta con dos motores principales de la compañía Wärtsilä, una empresa de origen Finlandés, modelo 8L26, capaces de generar una potencia de 2720 kW cada uno, a un 1500 rpm.

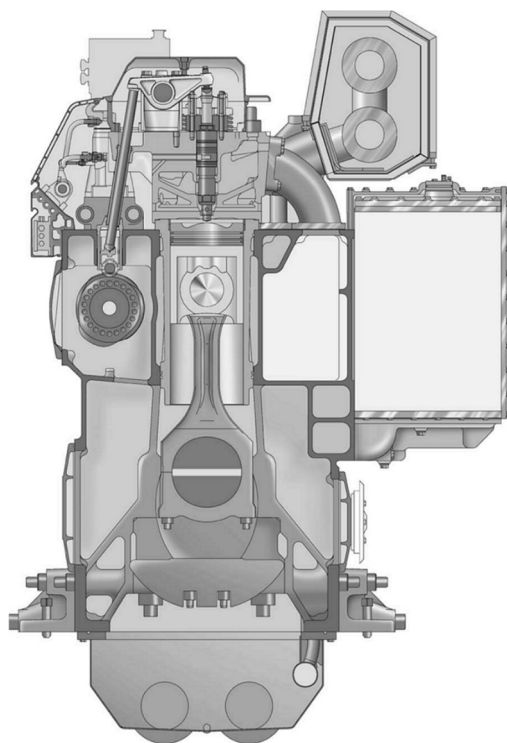


Ilustración 11. Detalle del motor principal de babor del buque. Fuente: Trabajo de campo.

Se trata de motores de 4 tiempos con 8 cilindros en línea. En la siguiente tabla se muestran sus especificaciones técnicas [6]:

<b>Potencia nominal</b>	2.720 kW
<b>Diámetro interior del cilindro</b>	260 mm
<b>Golpe del pistón</b>	320 mm
<b>Salida del cilindro</b>	340 kW/Cil
<b>Velocidad</b>	1.500 rpm
<b>Presión media efectiva</b>	24 bar
<b>Velocidad del émbolo</b>	10.7 m/s

Este modelo de motor se empezó a comercializar en el año 2000. Además de este modelo de 8 cilindros en línea, existen distintas variantes, como son de 6 o 9 cilindros en línea, y 12 o 16 cilindros en V. Los modelos Wärtsilä 26, se caracterizan por ser motores de bajo coste de operación, además de ser muy compactos y requerir poco espacio para ser montados en la sala de máquinas.



*Ilustración 12. Corte lateral motor Wärtsilä 8L26. Fuente: [6].*



*Ilustración 13. Detalle motor Wärtsilä 6L26. Fuente: [7].*



Las dimensiones (dadas en mm.) y el peso (dado en Tm.) del motor en el que se centra el estudio son:

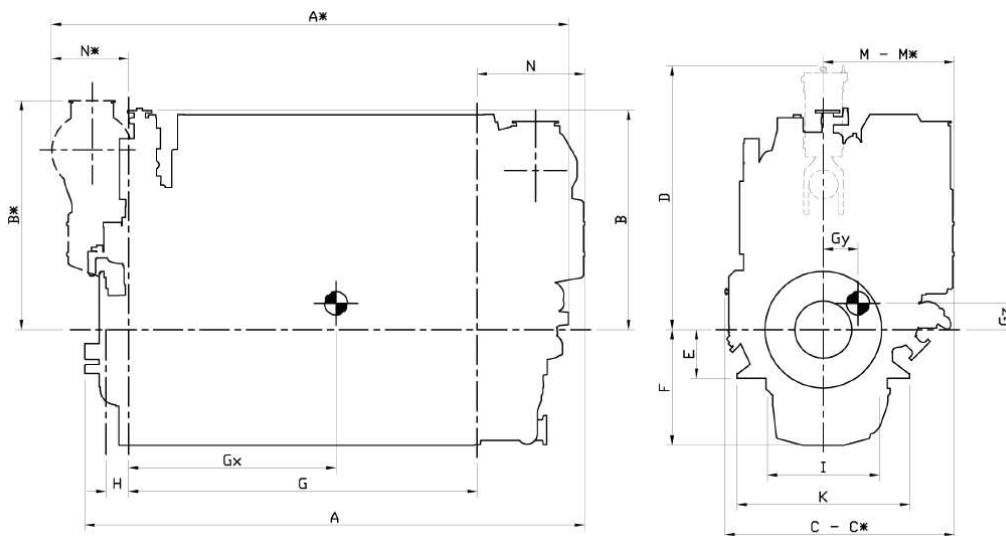


Ilustración 14. Esquema motor 8L26. Fuente: [8].

W	A*	A	B*	B	C*	C	D	E	F	F	G
8L26									<b>mojado</b>	<b>seco</b>	
	5.302	5.059	2.023	1.868	2.010	2.107	2.430	400	950	818	3.646

W	H	I	K	M*	M	N*	N	Peso (tm)	
								Carter húmedo	Carter seco
8L26	186	920	1.420	1.167	1.258	794	1.054	21.6	21.9

W	Carter húmedo						Peso (tm)					
	Gx*	Gy*	Gz*	Gx	Gy	Gz	Gx*	Gy*	Gz*	Gx	Gy	Gz
8L26	2.002	78	457	1.704	78	457	2.002	78	465	1.704	78	465

### 3.3.1 Descripción de los sistemas del motor

- **Diseño del motor**

El bloque motor está diseñado como un componente modular, construido en hierro fundido, de una sola pieza. El bloque monta el cigüeñal acoplado en su parte baja, asentado sobre los asientos de bancada. Estos asientos van montados con tuercas a presión, fijadas hidráulicamente, lo que proporcionan un asiento muy rígido.

El cigüeñal se encarga de accionar el sistema auxiliar del motor, como son las bombas de refrigeración y una bomba de lubricación. Los piñones encargados de transmitir la fuerza a las mismas las encontramos en la popa del motor, bajo una carcasa de hierro fundido. [8]



Ilustración 15. Vista desde lumbra motor 8L26. Fuente: Trabajo de campo.

- **Cigüeñal**

El cigüeñal esta forjado en una sola pieza de acero de alta resistencia y como ya se comentó, se encuentra sumergido en el motor [8]. Al girar el cigüeñal con el funcionamiento del motor, además de transmitir el movimiento al eje, cuenta con piñón encargado de transmitir el movimiento, mediante una serie de engranajes a unas bombas de lubricación y refrigeración. Este sistema de engranajes se encuentra en la popa del motor, en el acople al volante de inercia.

En el otro extremo del mismo encontramos el acople del Damper Antivibración. Encargado de minimizar las vibraciones y contrapesar el cigüeñal.

Además, encontramos en los muñones un orificio, encargado de canalizar el lubricante necesario para enfriar y lubricar las bielas, y dos orificios en los asientos de bancada del cigüeñal en el bloque.



*Ilustración 16. Detalle del cigüeñal. Fuente: Trabajo de campo.*

- **Bielas**

Las bielas están fabricadas en acero forjado [8]. Estos van unidos a la muñequilla del cigüeñal gracias a un corte transversal en la cabeza de biela, apretado con tuercas a presión, empleando para su desmontaje útiles específicos como son un juego de gatos hidráulicos. Están diseñadas para ser extraídas del bloque junto con la camisa del cilindro.

El suministro de aceite para lubricar el pistón, se realiza mediante un orificio que comunica el pie de biela con la cabeza de biela.

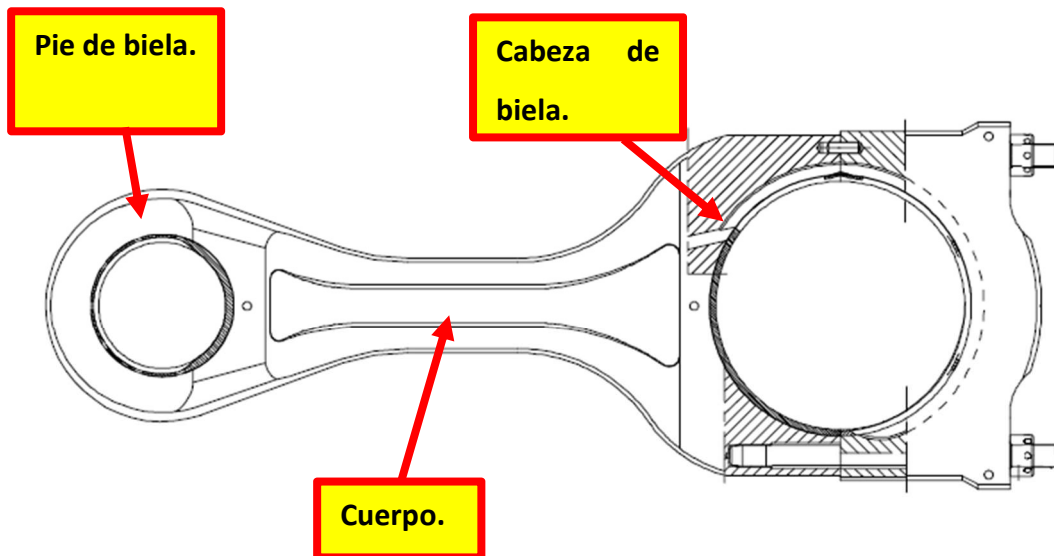


Ilustración 17. Detalle de la biela. Fuente: [8].

- **Camisas de los cilindros**

Las camisas de los cilindros están fabricadas de una aleación especial de hierro gris fundido [8]. Son de tipo húmedo y van sellados contra el bloque motor mediante una junta en la parte superior y por tóricas en la inferior. Es refrigerado mediante agua de refrigeración.



Ilustración 18. Detalle Camisas. Fuente: Trabajo de campo.

- **Pistón**

De diseño compuesto, ya que en la falda del mismo se emplea Arrabio, mientras que en la corona acero. Es lubricado mediante unas boquillas lubricantes ubicadas en la falda del pistón, alimentadas a través del canal de lubricación con el que cuenta la biela, nombrado en el apartado de bielas.

Cuenta con unas hendiduras en la corona para colocar en ellos los anillos. El juego de anillos está formado por [8]:

- 2 anillos de compresión, perfilados asimétricamente.
- 1 anillo rascador de aceite.

- **Culatas**

Cuenta por una en cada cilindro, están fabricadas de hierro gris fundido. Es refrigerado mediante el sistema de agua refrigeración encargado de refrigerar las camisas [8]. Además de encontrar unos canales en los puentes de válvulas que se encargan de mejorar la transferencia de calor, los asientos de las válvulas son refrigerados directamente.

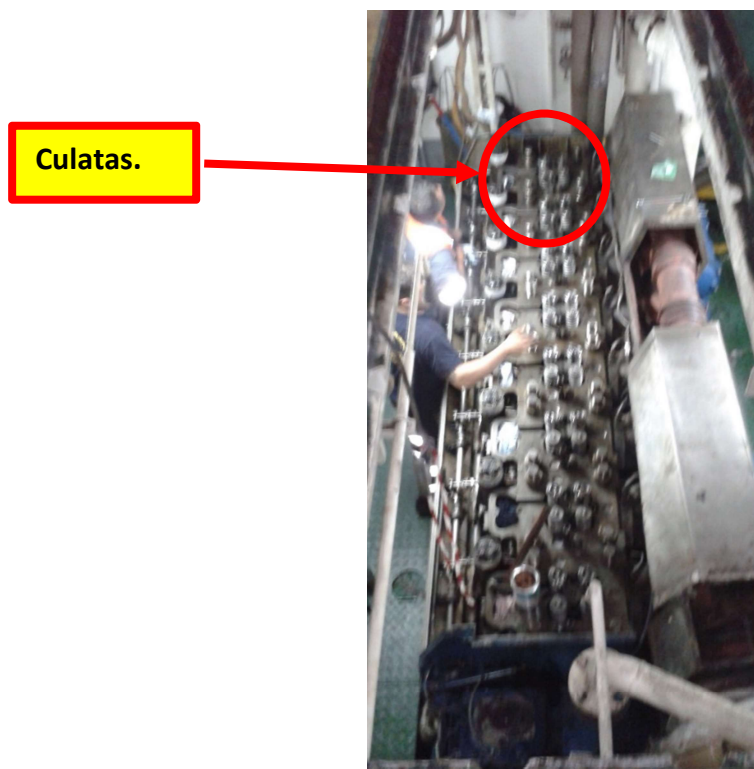


Ilustración 19. Detalle de las culatas montadas, vista superior del motor. Fuente: Trabajo de campo.

Para soportar la carga mecánica, la culata es apretada al bloque mediante unos pernos a presión.

En la culata del cilindro encontramos una serie de conexiones:

- Sistema de admisión.
- Sistema de escape.
- Sistema de agua de refrigeración para refrigerar la culata.

- **Árbol de levas**

Se encuentra en el bloque, es animado mediante el cigüeñal, gracias a un engranaje acoplado al piñón auxiliar. Las levas van integradas junto al árbol de levas, está construido en acero forjado. El árbol de levas está diseñado mediante secciones, que permiten la extracción del mismo por un lateral del bloque, estas secciones están divididas por los cojinetes de apoyo a su alojamiento, y son unidas mediante bridas [8].

El mecanismo encargado de empujar las válvulas es de tipo pistón con un autoajuste mediante rodillo.

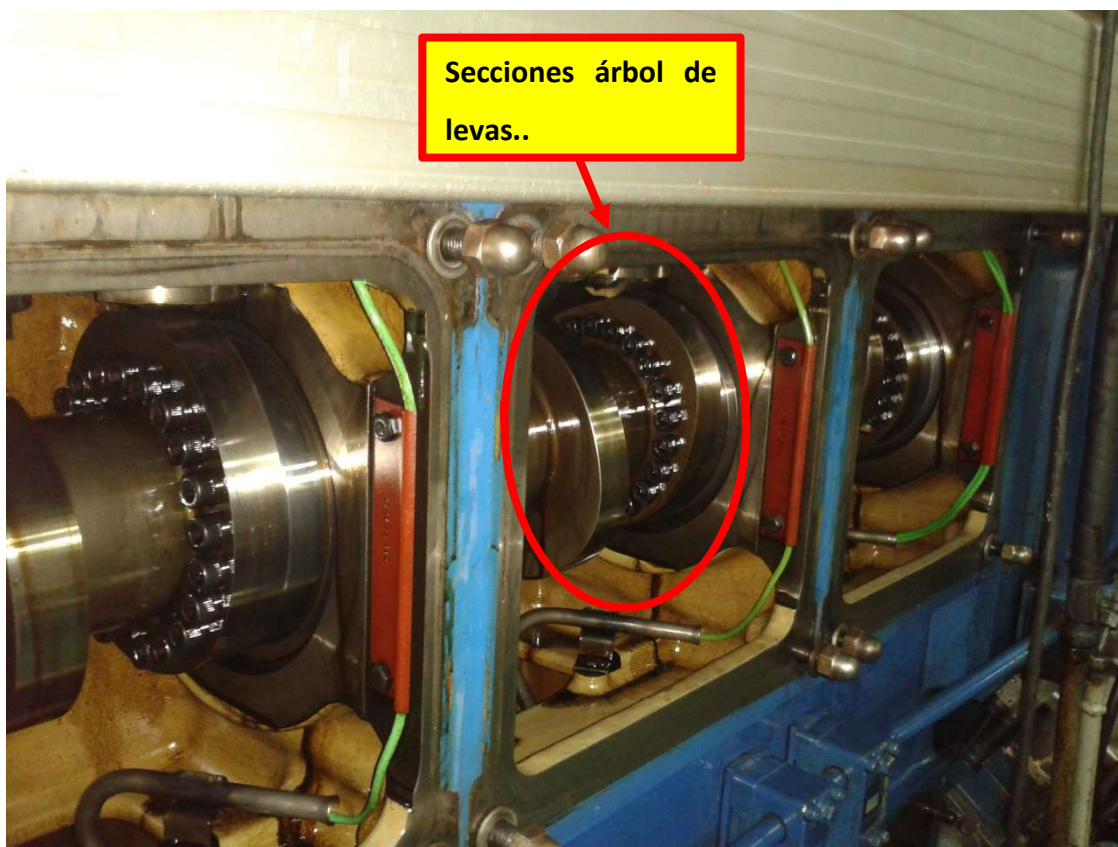


Ilustración 20. Detalle del árbol de levas. Fuente: Trabajo de campo.

- **Sistema de inyección**

Este motor cuenta de una bomba de inyección por cilindro, encargada de inyectar cantidades variables de combustible, el combustible es enviado a un inyector, encargado de introducir el combustible en el cilindro [8]. Este sistema es empleado habitualmente en los motores Diesel, se trata de un sistema de inyección a alta presión o HP.

Sirve para inyectar dependiendo de la demanda de combustible del motor, cierta cantidad de combustible pulverizado en el ciclo de compresión, que una vez en contacto con el aire caliente, se mezcla y se enciende produciendo la combustión.

En otras palabras, su función es la de introducir en el cilindro una cantidad justa de combustible líquido pulverizado (dependiendo del régimen del motor), en el momento indicado

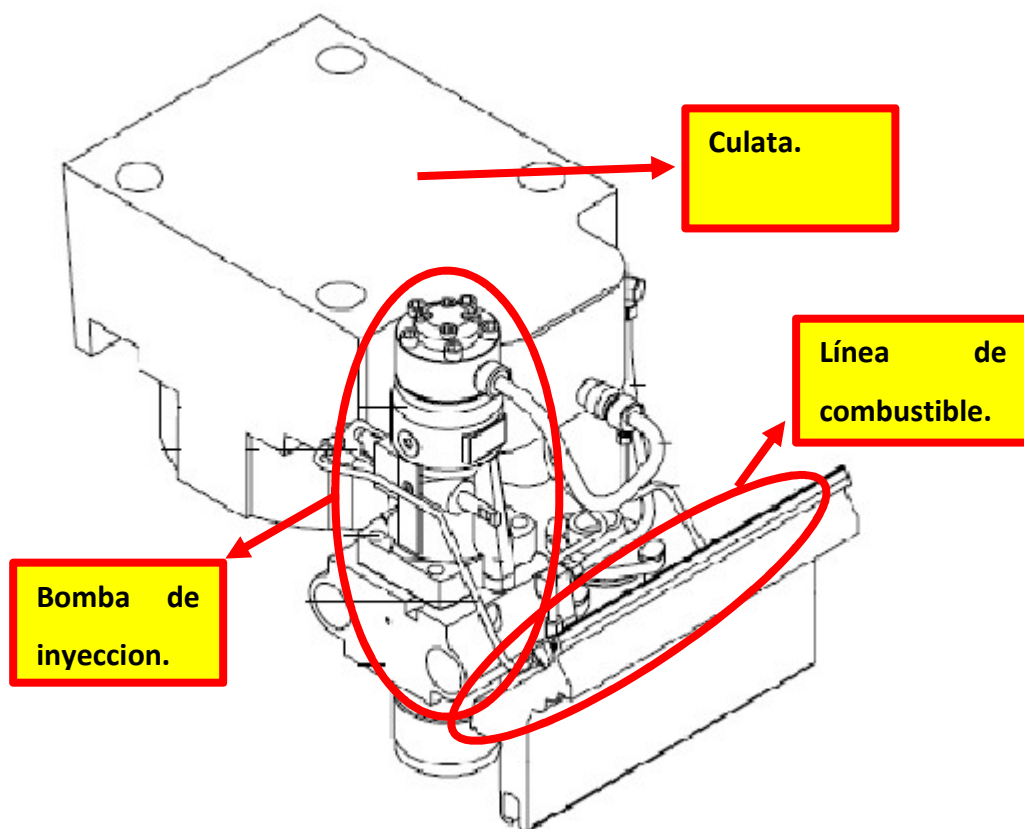


Ilustración 21. Detalle bomba de inyección. Fuente: [8].

El combustible llega a las bombas de alta presión, gracias a una bomba alternativa accionada por el motor, que enviara el combustible por unas tuberías hasta las bombas mediante el sistema de engranajes del cigüeñal, esta va sincronizada mediante el árbol de levas, que bombeara el combustible por una tubería, hasta las bombas HP y estas lo

inyectarán a una presión determinada, que se regula haciendo girar el émbolo por medio de un sistema de piñón y cremallera, con este giro del émbolo, se pone en comunicación la cámara donde se encuentra el combustible ingresado, con una ranura helicoidal mecanizada en el émbolo, dejando salir el excedente de combustible de regreso a su depósito original, limitando así la cantidad inyectada al motor. La bomba debe estar perfectamente sincronizada con el funcionamiento del motor para asegurar que se inyecte combustible al cilindro correspondiente según una secuencia dada de inyección.

- **Sistema de lubricación**

El sistema de lubricación de este motor, cuenta con una bomba de prelubricación, accionada eléctricamente, una serie de válvulas termostáticas, filtros y un refrigerador de aceite lubricante integradas en un módulo en el bloque motor; y una bomba de aceite lubricante, ubicada en el extremo libre del motor [8].

- **Sistema de agua de refrigeración**

Se trata de enfriadores de placas. Estos se dividen en un sistema enfriadores de alta temperatura HT, encargado de la refrigeración de las camisas de los cilindros, culatas; y enfriadores de baja temperatura LT, encargados de la refrigeración del enfriador de aire y el sistema de lubricación [8].

- **Sistema de aire**

Cuenta con una turbo de una etapa de flujo axial y un compresor centrífugo [8].

- **Sistema de escape**

Consiste en un sistema de paneles de fácil desmontaje, cuentan con recubrimiento de material aislante [8].

- **Sistema electrónico**

En este caso se emplea un sistema de automatización modular integrado, fabricado por Wärtsilä, conocido UNIC C2. Este sistema cuenta con un panel para la monitorización local del motor. Este sistema además de controlar el motor, maneja las alarmas del mismo, como pueden ser sobrevelocidad o bajo nivel de presión de aceite, y es capaz de realizar paradas de emergencia si fuera necesario [8].



### 3.4 Explicación de la avería

El objetivo de es la reparación de una avería en el cigüeñal del motor principal de babor del buque “Volcán de Tindaya”. Para entender el proceso de la reparación es importante conocer que es una avería, en que se basa la reparación de las mismas y los tipos de mantenimientos que se llevan a cabo para evitarlas en la medida de lo posible, por último, se expondrá en que consistió la reparación llevada a cabo.

#### 3.4.1 El concepto avería

Podemos entender el concepto de avería como un fallo, o una serie de inconvenientes que imposibilitan a un elemento realizar la función para lo que había sido diseñado [9].

Las averías se pueden manifestar de diversas formas y afectar a distintas funciones de elementos u objetos. Para conocer las mismas es necesario comprender el funcionamiento del elemento dañado, y así llegar a comprender la magnitud de los daños al perder la función total, cuando no puede realizar las funciones para las que ha sido diseñado, o parcial, cuando afecta a alguna de las funciones del elemento.

Para conocer la magnitud de la avería, se establecen una serie de categorías en las averías dependiendo de las funciones para las que ha sido diseñado el elemento o aparato. Así mismo un se divide en tres funciones:

- **Funciones principales:** aquellas para las que el elemento ha sido diseñado. En nuestro caso, la función principal del motor principal sería la de proporcionar potencia al eje de cola.
- **Funciones secundarias:** cumplen funciones de apoyo a las principales. El sistema de inyección, encargado de proporcionar el combustible para la combustión.
- **Funciones terciarias:** funciones relacionadas con la calidad de forma o estética. La limpieza del bloque motor.

Las averías se pueden clasificar en tres grupos:

- **Avería crítica:** la que afecta a las funciones principales. Como es el caso de la avería en la que se basa este proyecto.

- **Avería parcial:** afecta a algunas funciones del aparato, pero no a todas. Como por ejemplo un fallo en la regulación de la inyección en uno de los cilindros del bloque.
- **Avería reducida:** afecta al elemento, pero no impide que este pierda funciones principales ni secundarias.

A raíz de esta clasificación se desarrollará un modelo de estudio para solventar las averías. Se debe tener presente el orden de prioridad de las averías, siendo las más importantes de solventar las críticas, seguida de las parciales y por último las reducidas. Clasificándolas de esta manera se consigue establecer un orden lógico para solventarlas progresivamente.

Para solventar una avería es necesario llevar a cabo una reparación, se encuentran diferentes tipos de reparación, atendiendo al tipo de avería al que atiendan. Por lo general se clasifican en dos grandes grupos [10]:

- **Reparaciones provisionales:** cuando se lleva a cabo una restauración condicional del aparato, es decir, la reparación se lleva a cabo sin contar con el tiempo o los repuestos necesarios, que no hayan conseguido recuperar la condición inicial del elemento.
- **Reparaciones definitivas:** aquella reparación que lograra restaurar la condición inicial del elemento averiado. Solucionando así el fallo causante de la avería.

### 3.4.2 Mantenimiento de un motor marino

Definimos como mantenimiento a todas las acciones que tienen como objetivo preservar un artículo o restaurarlo hasta un estado el cual pueda cumplir sus funciones principales. Dentro del mantenimiento industrial, encontramos 5 tipos de mantenimiento, diferenciados por el carácter de las tareas que incluyen, estos mantenimientos se clasifican en [11]:

- **Mantenimiento correctivo:** se basa en ir corrigiendo los distintos defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos. Podemos clasificar al mantenimiento correctivo en dos grupos:
  - **Planificado:** este tipo de mantenimiento consiste en estar previsto de las herramientas necesarias para solventar la avería de forma inmediata.
  - **No planificado:** lo podemos clasificar como el de mayor riesgo, ya que cuando sucede la avería se produce de forma inesperada y conlleva al personal a tomar las medidas necesarias o que consideren oportunas para reparar la avería lo antes posible, lo que suele dar lugar a una reparación provisional.
- **Mantenimiento preventivo:** este tipo de mantenimiento no ha de confundirse con el correctivo planificado, ya que este tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervenciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. Es decir, se interviene el equipo, aunque no haya dado síntomas de problemas.
- **Mantenimiento predictivo:** es el que persigue conocer e informar permanentemente el estado de operatividad de las instalaciones, mediante el conocimiento de determinadas variables, que influyen en el funcionamiento del mismo. Para llevar a cabo este mantenimiento es necesario estudiar las variables físicas (temperatura, vibraciones, etc.) que influyen en el equipo. Este tipo de mantenimiento es el más tecnológico y requiere de medios técnicos avanzados y conocimientos matemáticos, físicos y/o técnicos.
- **Mantenimiento cero horas (Overhaul):** se trata de un conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos en intervalos de tiempo programados, bien antes

de que aparezca ningún fallo, o cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido de manera que resulta arriesgado que esta siga funcionando con total capacidad productiva. En esta revisión se deja a cero horas de funcionamiento al equipo. Se sustituyen o se reparan elementos sometidos a desgaste. Con lo que se pretende asegurar un tiempo de funcionamiento fijado de antemano.

- ***Mantenimiento en uso:*** llevado a cabo por los usuarios del equipo, se basa en realizar una serie de tareas, como son la toma de parámetros de funcionamiento, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, etc. Para las que no son necesarias una gran formación.

### **3.4.3 Propuesta de reparación**

Como se explicó en el apartado de averías, las reparaciones deben ir en función del tipo de fallo. En nuestro caso la avería da lugar en uno de los motores principales del buque de pasaje “Volcán de Tindaya”, la avería a tratar es de origen crítico, y se debe solventar realizando un cambio de cigüeñal a bordo.

Este tipo de averías no son muy comunes en el entorno marino, debido a que se trata de un elemento muy costoso y de difícil fabricación. Para llevar a cabo la reparación, se llevan a cabo una serie de pautas y estudios para su correcta realización. Estas pautas y estudios los pude desarrollar en mi periodo de prácticas curriculares en los talleres FEROTHER. En cuanto al lugar en donde se produjo la maniobra de cambio, con el buque atracado en el muelle Primo de Rivera, en el Puerto de La Luz, en Las Palmas de Gran Canaria.

Los pasos a seguir en la maniobra de cambio de cigüeñal a bordo de un buque son los siguientes:

1. Desinstalación del motor en el que se realizaran los trabajo: se desacopla de la reductora, se desconecta el cableado eléctrico, al igual que las tuberías de combustible, agua salada, agua dulce, aire de arranque, escape y se aflojan tornillos de fijación a la bancada.
2. Se lleva a cabo un estudio de carga estructural de la cubierta principal del buque, para configurar un pórtico en la lumbrera del motor principal que soporte el peso del mismo para llevar a cabo la maniobra de izada y se estudia la posición de los diferenciales que se emplearan para dicho trabajo. Una vez realizado el estudio se prepara el pórtico y se suelda a la cubierta principal.
3. Para la maniobra de izada se emplearán como se comentó previamente una serie de diferenciales capaces de soportar el peso del bloque, además de los útiles específicos para sujetar el bloque.
4. Antes de la maniobra se debe aligerar el peso del bloque, se desmontan los elementos del mismo como son enfriadores, culatas, camisas, bielas, etc.

5. Una vez aligerado se procede a la maniobra, una vez con el bloque izado se acondiciona el cárter y la bancada. Además de esto se procede a la maniobra de extracción del cigüeñal averiado y al montaje del nuevo.
6. Con el cigüeñal nuevo montado se procede al montaje del motor y a la sustitución de los elementos dañados tras la avería.
7. Con el motor montado se alinea el mismo con respecto a la reductora. Y a la fabricación de los tacos de bancada.
8. una vez alineado y fijado se pasa al conexionado del motor (combustible lubricación, aire, escape, cableado eléctrico, etc.)

Estos pasos se detallan en el capítulo V. Resultados, de este Trabajo de Fin de Grado.

### 3.4.4 Normativa

Detrás de esta operación tan compleja, se deben tener al tanto cuestiones como la legislación, normativas y las certificaciones del fabricante del motor.

En primer lugar, para poder realizar una reparación de esta magnitud, es necesario la conformidad tanto del fabricante del motor, como del equipo del buque, así como la naviera. Para ello, se debe emitir un informe de la avería acontecida al armador, junto con una solicitud de aprobación de la reparación, aprobada por el fabricante del motor, así como el equipo técnico del buque y la sociedad de clasificación, en este caso Bureau Veritas.

Una vez aprobado por el armador y la sociedad de clasificación, se deberán adjuntar a estas entidades los siguientes documentos:

- Informe técnico de la avería.
- Informe técnico del motor (proporcionado por el fabricante).
- Fichero técnico del motor.
- Certificado de un instalador autorizado (los talleres FEROTHER en este caso).

Una vez finalizado el trabajo, el barco recibirá una inspección por parte de la administración del buque y de la sociedad de clasificación, para aprobar definitivamente los trabajos realizados.



Ilustración 22. Logo empresas involucradas. Fuente: [12].





## **IV. METODOLOGIA**



## **IV. METODOLOGIA**

La metodología empleada en referencia a este trabajo de fin de grado la hemos dividido en los siguientes apartados:

### **4.1 Documentación bibliográfica.**

La documentación descrita en este TFG, (a partir de ahora Trabajo de Fin de Grado), es a partir de una fuente bibliográfica en la que se incluyen páginas web, informes y manuales del buque, etc. Además de los conocimientos adquiridos en mi periodo de prácticas en la empresa FEROTHER. para los aspectos técnicos de la sustitución del cigüeñal se ha recurrido a los manuales proporcionados por el fabricante del MCI.

### **4.2 Metodología del trabajo de campo**

La realización de este TFG viene de mi experiencia de un trabajo de campo que consistió en describir las etapas del proceso de protocolo de montaje de un cigüeñal rectificando en un MCI a bordo de un buque convencional. Incorporando fotos de la elaboración propia con reseñas en las mismas que aportan más claridad al lector del TFG.

### **4.3 Marco referencial**

Nuestro marco referencial es el buque “Volcán de Tindaya” y la empresa de reparaciones navales FEROTHER. En la cual he tenido la experiencia dentro de mi periodo de prácticas para la elaboración de este TFG.



## **V. RESULTADOS**



## **V. RESULTADOS**

En este apartado se tratará el objeto principal de este trabajo de fin de grado, se centrará en el desarrollo etapa por etapa de la maniobra de cambio de cigüeñal. Se comenzará con una descriptiva de las etapas de la avería hasta el cambio del cigüeñal y finalizará con las pruebas de mar realizadas al motor una vez montado el motor con el cigüeñal nuevo.

### **5.1 Etapas de la avería hasta el cambio del cigüeñal**

Antes de comenzar con el proceso realizado para el montaje del cigüeñal, cabe destacar las etapas previas hasta la avería y como se detectó la misma a bordo del buque “Volcán de Tindaya”.

Las etapas del proceso fueron:

1. El buque Volcán de Tindaya entra en Astican para realizar su varada bianual en los astilleros Astican en El Puerto de la Luz en Las Palmas de Gran Canaria.
2. En la varada se realizan trabajos de mantenimiento en los motores y en la estructura del buque.
3. En el motor principal de babor, se estaban detectando en navegación una serie de anomalías en navegación:
  - Funcionaba a unos regímenes muy elevados.
  - Al tomar flexiones en la varada se encuentra que estas están ligeramente desviadas de los valores nominales, dados por el fabricante.
  - Al desmontar las bielas para realizar el Overhaul del motor, se encuentra que las tapillas de las cabezas de biela se encuentran muy desgastadas. Tapillas que habían sido reemplazadas por nuevas 8 meses antes.
  - Se cambia el Damper antivibración, suponiendo que esta puede ser la causa de las anomalías.

4. El buque tras finalizar la varada, realiza las pruebas de mar satisfactoriamente y es botado a la mar.
5. En el agua el buque navega alrededor de 10 minutos. Hasta que debe hacer una parada de emergencia en el motor de babor. Este produce un ruido extraño y unas fuertes vibraciones.
6. El buque vuelve al Puerto de La Luz y realiza una parada técnica. Se sospecha que la avería es producida por el cigüeñal.
7. Tras la avería. El buque atraca en el muelle Primo de Rivera en el Puerto de La Luz en Las Palmas de Gran Canaria. Para llevar a cabo las reparaciones en el motor principal de babor.
8. Al abrir los registros del cárter del motor de babor, se descubren serios daños en la biela número 3.
9. Para conocer la magnitud de la avería, se procede al desmontaje del motor. Una vez desmontado, se analizan los daños producidos. Se propone el cambio del cigüeñal por uno nuevo.
10. Se decide montar un cigüeñal nuevo. Y se prepara la maniobra para el izado del bloque del motor y el cigüeñal.
11. La maniobra de izado se lleva a cabo con unos útiles específicos para este tipo de trabajo, facilitados por el fabricante de los motores “Wärtsila”.
12. Una vez instalado el cigüeñal, y con el buque aun atracado. Se monta el motor y se realizan las pruebas pertinentes.
13. Una vez finalizadas las pruebas, se pasa a realizar las pruebas de mar, que dan un resultado satisfactorio.



## 5.2 Trabajos realizados durante la varada

El buque entra en varadero el 21 de Noviembre de 2017, para realizar su varada bianual. En buque de pasaje esta varada se debe realizar anualmente, salvo en casos excepcionales, en los que se encuentra que el buque se encuentra en buenas condiciones, por lo que se amplía el tiempo de varada a cada dos años, como en este caso.

En la varada se realizan una serie de trabajos de mantenimiento en el buque como son:

- Trabajos en el casco:
  - Eliminación de la pintura del casco, empleando un proceso especial de decapado por chorro de arena.
  - Imprimación de antifouling y pintura del casco.
- Mantenimientos en la hélice de proa:
  - Desmontaje de la misma para eliminar el material no deseado y comprobar si existen indicios de cavitación o corrosión en la misma.
  - Mantenimiento del sistema eléctrico.
  - Mantenimiento del sistema hidráulico.
  - Comprobación de las empaquetaduras y sellos del sistema.
- Mantenimiento de la cubierta principal:
  - Trabajos de soldadura y saneamiento de la cubierta.
  - Trabajos de mantenimiento en la rampa móvil de la cubierta principal.
- Mantenimiento de la maquinaria de la sala de máquinas:
  - Se realiza el Overhaul de los motores auxiliares (2) del buque.
  - Se realiza el Overhaul de los motores principales (2) del buque.
  - Se lleva a cabo el mantenimiento de la caldera del buque.
  - Se realiza el mantenimiento de la maquinaria de la sala de máquinas.

### 5.2.1 ¿Qué es un Overhaul?

Uno de los trabajos más importantes en los que tuve el privilegio de participar en mi periodo de prácticas en los talleres FEROTHER, fue el mantenimiento a cero o Overhaul. Este tipo de mantenimientos se lleva a cabo atendiendo al número de horas de funcionamiento del motor o en casos especiales cuando se detecten anomalías que pongan en duda la fiabilidad del equipo, y resulte arriesgado seguir haciéndola funcionar con total capacidad productiva.

Por lo general estos mantenimientos se realizan a las 12.000 horas de funcionamiento del motor. Se trata de un mantenimiento programado, en el que se examina y desmontan exhaustivamente todos los componentes de la máquina, sustituyendo o reparando todos los elementos sometidos a desgaste, dejando a cero horas de funcionamiento el equipo, con el fin de evitar una posible avería, o disminuir la probabilidad de que estas sucedan. Este tipo de mantenimientos se realiza siempre bajo la supervisión de un equipo de técnicos del fabricante del motor, en este caso Wärtsilä.



Ilustración 23. Extracción tren alternativo. Fuente: Trabajo de campo.



Ilustración 24. Vista superior del motor con los trenes alternativos desmontados. Fuente: Trabajo de campo.

En este trabajo nos centraremos en los trabajos realizados en el motor principal de babor. Para tener más claras la distribución la sala donde se realizarán los trabajos se ha diseñado un esquema de la sala de los motores principales que es donde se trabajará.

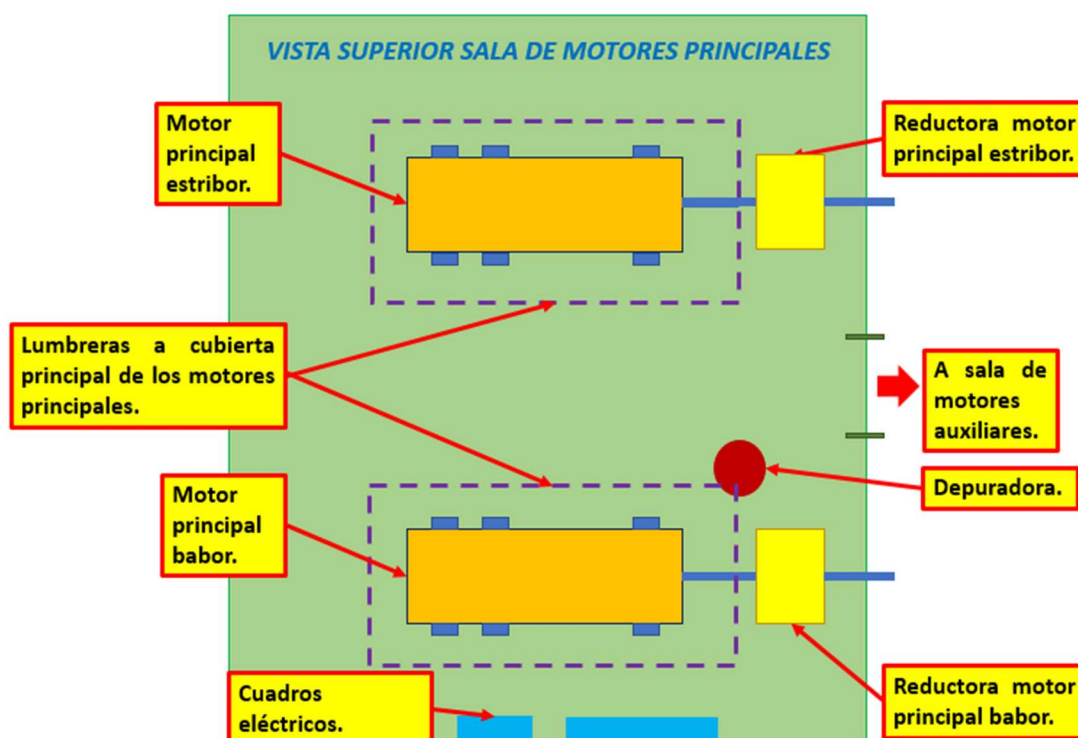


Ilustración 25. Esquema de la sala de motores principales. Fuente: Elaboración propia.

Antes de comenzar con el Overhaul, se deben hacer una serie de preparativos en los motores. Se desinstalan los motores donde se realizará dicho mantenimiento, se desconecta cableado eléctrico, tuberías de combustible, agua dulce, agua salada, aire de arranque, se desmontan líneas de escape y admisión.

Durante el Overhaul del motor principal de babor, se realizaron trabajos como:

- Acondicionado de los enfriadores de aceite y agua de refrigeración del motor en los talleres de FEROTHER. Una vez en el taller, se desmontaron los enfriadores de placas, se limpiaron con químicas y se comprobó su correcto estado.
- Se reemplaza el regulador del motor por uno nuevo, debido al mal funcionamiento del que estaba funcionando. Este funcionaba con cierta irregularidad, se notaban oscilaciones en la cremallera del mismo, por lo que se decide sustituir por uno nuevo.



*Ilustración 26. Regulador del motor principal. Fuente: Trabajo de campo.*

- Se realiza el mantenimiento de la turbo y el compresor del motor, además del virador eléctrico del motor.



Ilustración 27. Detalle turbocompresor. Fuente: Trabajo de campo.

- Se realiza el acondiciono y revisión del sistema de inyección (bombas y inyectores). Para desmontar las bombas de inyección, se debe asegurar previamente que no estén “pisadas” por el árbol de levas, esto se observa en la cremallera de la bomba (si esta no es posible moverla, es porque se encuentra pisada por el árbol de levas). Para ello se emplea el virador, hasta encontrar la posición en la que la cremallera de la bomba tenga una cierta holgura.



Ilustración 28. Detalle bomba de inyección. Fuente: Trabajo de campo.

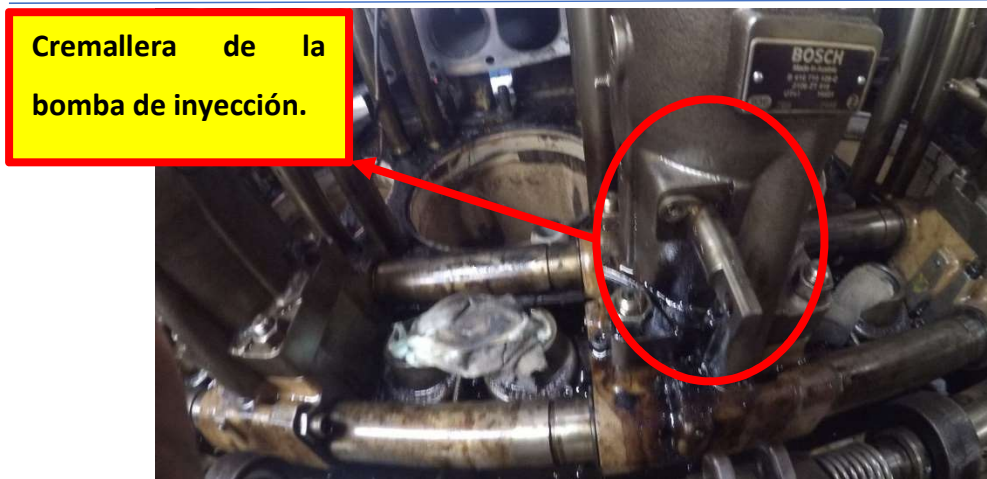


Ilustración 29. Detalle cremallera de la bomba de inyección. Fuente: Trabajo de campo.

- Se desmonta el sistema de escape y se comprueba su correcto estado.
- Se revisa el estado del árbol de levas y se comprueban sus holguras.

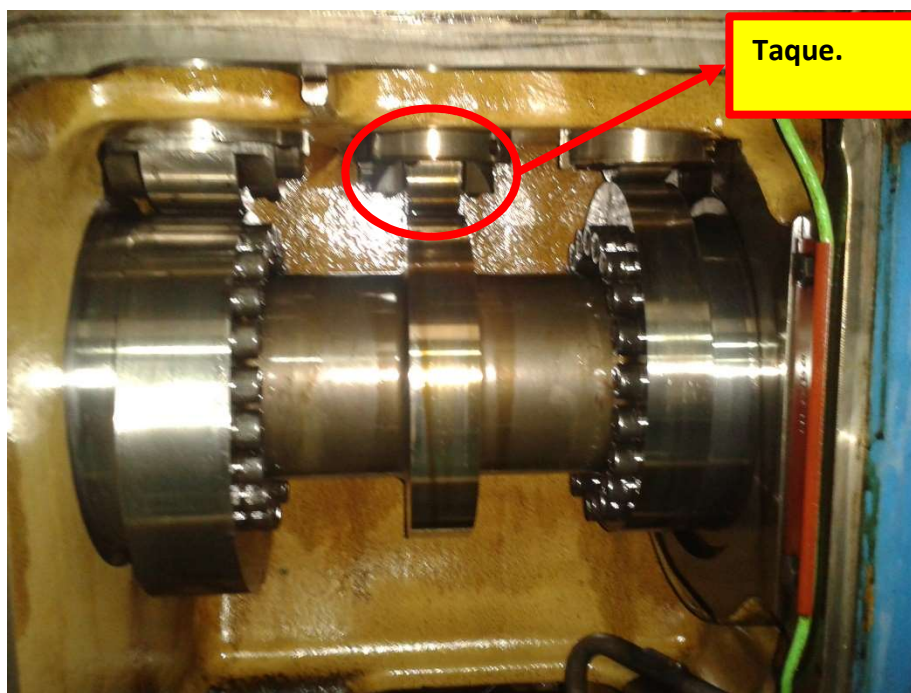


Ilustración 30. Sección del árbol de levas. Fuente: Trabajo de campo.

- Se desmontan culatas y trenes alternativos, empleando útiles específicos para el trabajo. Se sustituyen los consumibles, como son tóricas, juntas, etc. Y se acondicionan, además de comprobar el asiento de las válvulas, inyectores, etc. Este procedimiento viene destacado en el apartado 5.2.1 *Desmontaje del*

*tren alternativo*. Además de esto, se desmontan los balancines y los elementos mencionados (válvulas, inyectoros, etc.) se limpian y se comprueba su estado.



*Ilustración 31. Detalle de balancines. Fuente: Trabajo de campo.*

- Se cambia el Damper antivibración, suponiendo que puede ser el causante de las irregularidades del motor. Este procedimiento viene destacado en el apartado 5.2.2 *Sustitución del Damper antivibración*.

### 5.2.2 Desmontaje del tren alternativo

Como ya se comentó previamente, para desmontar los trenes alternativos y las culatas, es necesario emplear unos útiles específicos, ya que estos van apretados con tuercas de presión. Estos útiles son:

➤ **Culatas:**

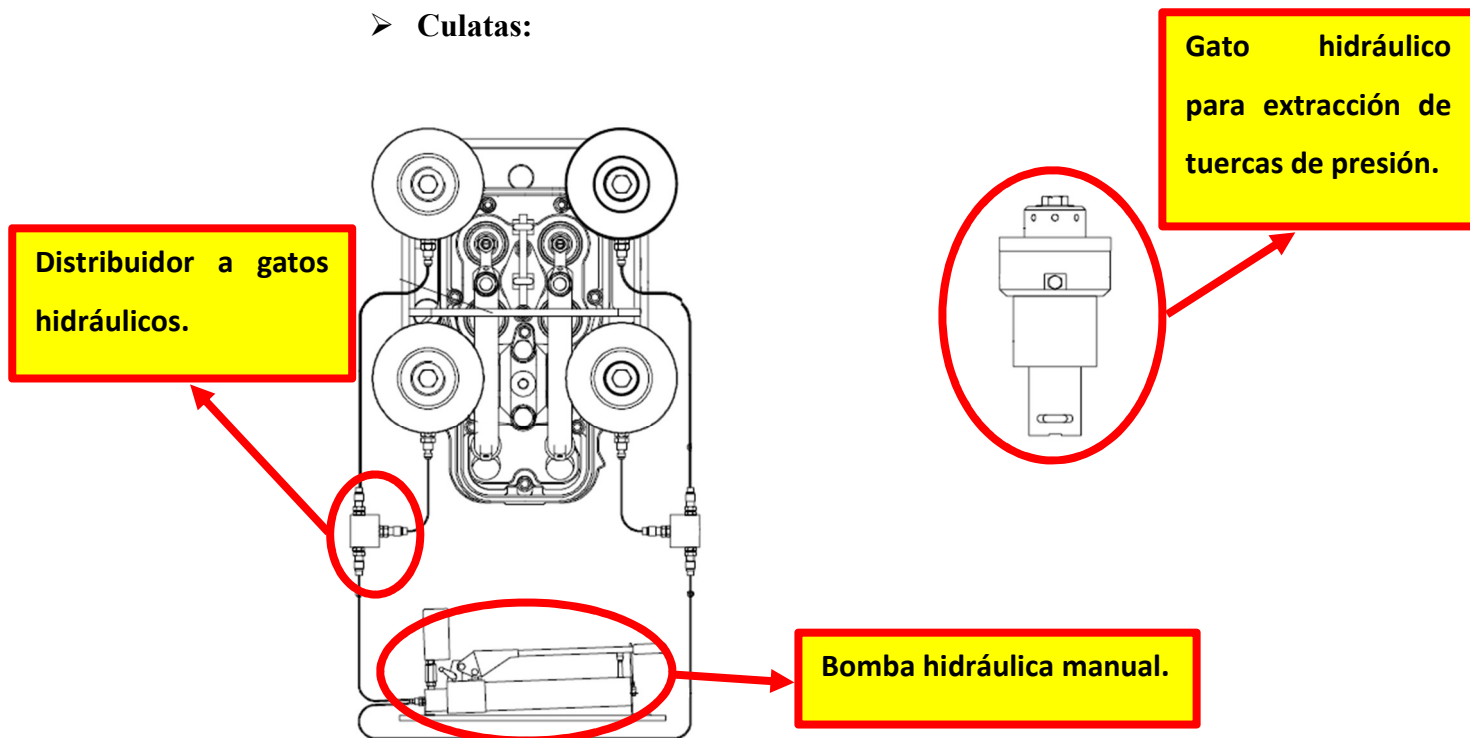
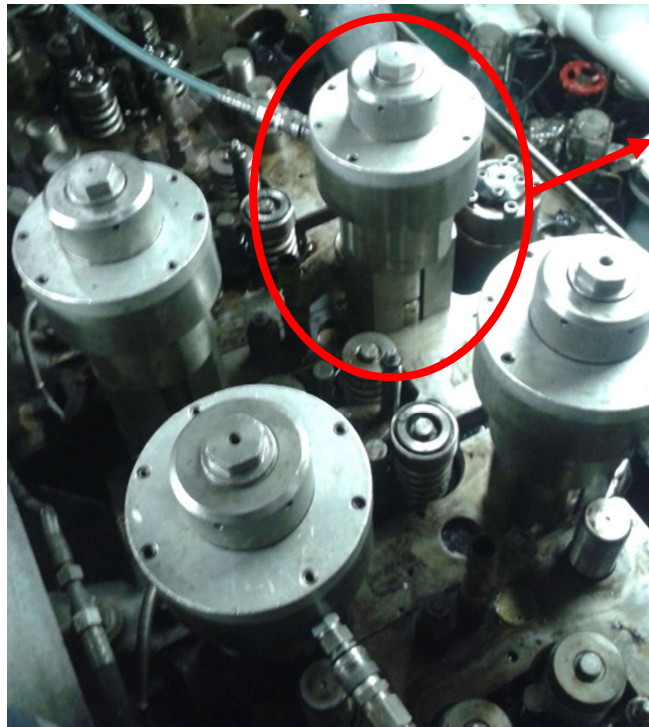


Ilustración 32. Detalles útiles empleados y proceso de desmontaje de culatas. Fuente: [8].





**Gatos hidráulicos montados en la culata para aflojar las tuercas de presión.**

*Ilustración 33. Gatos para desmontaje de tuercas de presión. Fuente: Trabajo de campo.*



**Útil extracción de culatas.**

*Ilustración 34. Extracción de culatas. Fuente: Trabajo de campo.*

Para aflojar las tuercas de las culatas, estas se deben aflojar simultáneamente, aplicando una fuerza gradual, hasta llegar a 970 kg, mientras se van aflojando las tuercas en cada etapa que se le aplique la presión determinada por el fabricante.

Junto con la culata encontramos las válvulas y el inyector, los cuales se extraen del mismo empleando una serie de útiles. En el caso de las válvulas se emplea un útil con unos orificios diseñados para que quepa el vástago de las válvulas y al aplicar una presión con un gato hidráulico en este caso, se suelten las chavetas que aprisionan estos y así poder extraer las válvulas. En el caso del inyector, irá apretado a la culata con unos tornillos con una determinada presión.

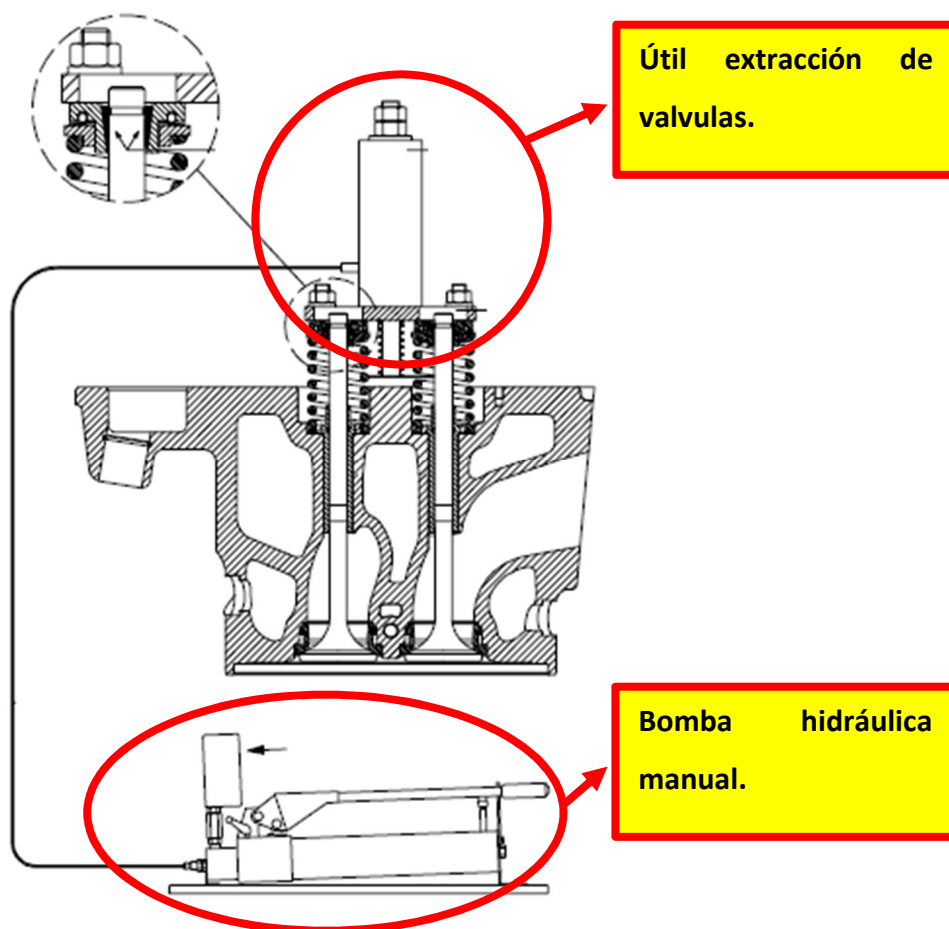


Ilustración 35. Útiles desmontaje de válvulas. Fuente: [8].

➤ **Bielas y camisas:**

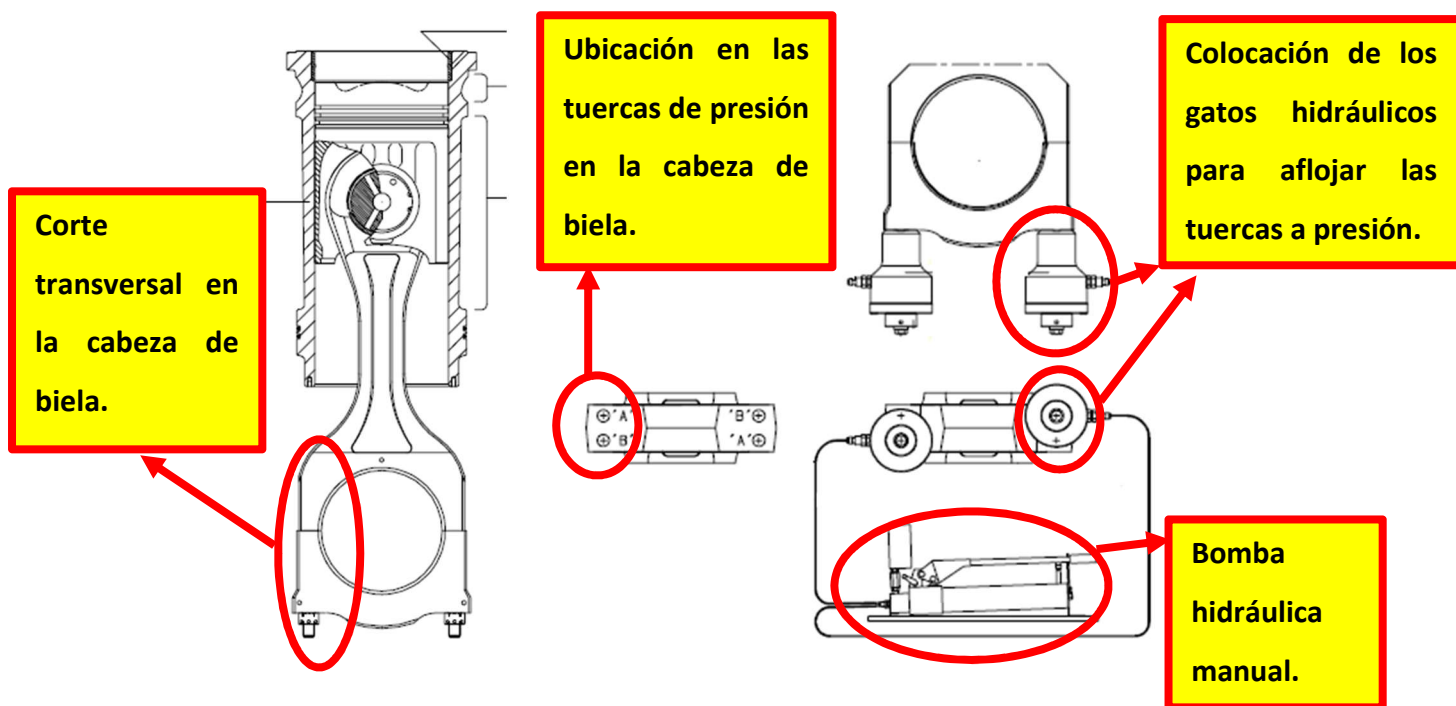


Ilustración 36. Detalle de la biela y el procedimiento de desmontaje. Fuente: [8].

Las bielas están separadas por un corte transversal en la cabeza de biela, y este va apretado por 4 tuercas a presión, las cuales se aflojarán con la ayuda de los útiles, al igual que las culatas, salvo que estas, se aflojarán de dos en dos, como se muestra en la imagen. Aplicando una fuerza gradual de 950 kg con la bomba y los gatos hidráulicos y aflojando poco a poco la tuerca en cada etapa que se le aplique la presión determinada por el fabricante.

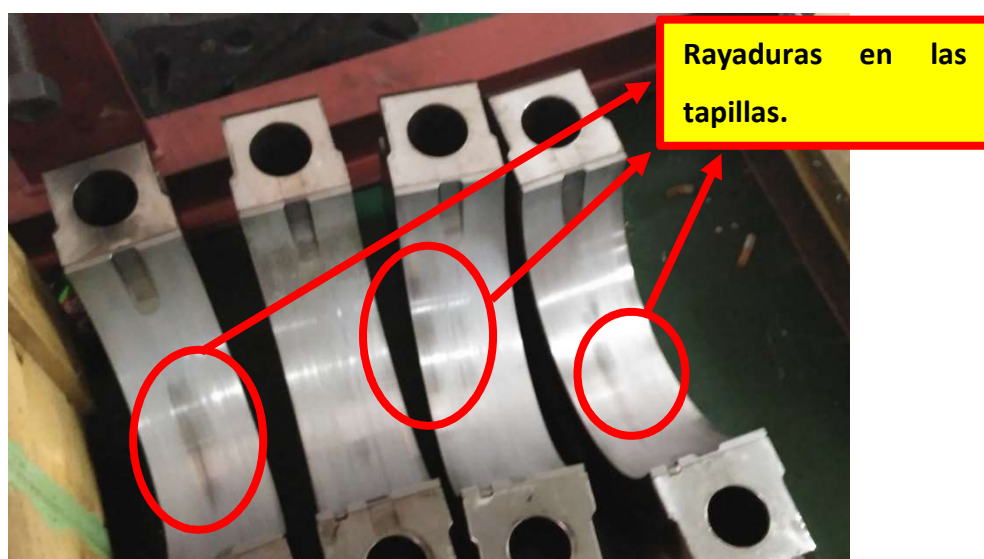


Ilustración 37. Tuercas de presión. Fuente: Trabajo de campo.

Una vez desmontadas las bielas, se encuentran las tapillas de estas con pequeñas rayaduras. Estas tapillas fueron sustituidas pocos meses atrás por lo que se sospecha que el cigüeñal se encuentra desviado. Estas tapillas como parte del Overhaul se sustituyen por nuevas.



*Ilustración 38. Cabeza de biela desmontada. Fuente: Trabajo de campo.*



*Ilustración 39. Detalle tapillas dañadas. Fuente: Trabajo de campo.*

Además de esto al extraer la biela, se extrae junto con estas las camisas, para extraer estas se emplea un útil especial para su extracción, además de un diferencial colocado en la cubierta principal del buque y se izan hasta el tecele del mismo, para llevarlas al taller donde se comprueba su rugosidad y si tienen indicios de rayaduras o desperfectos.

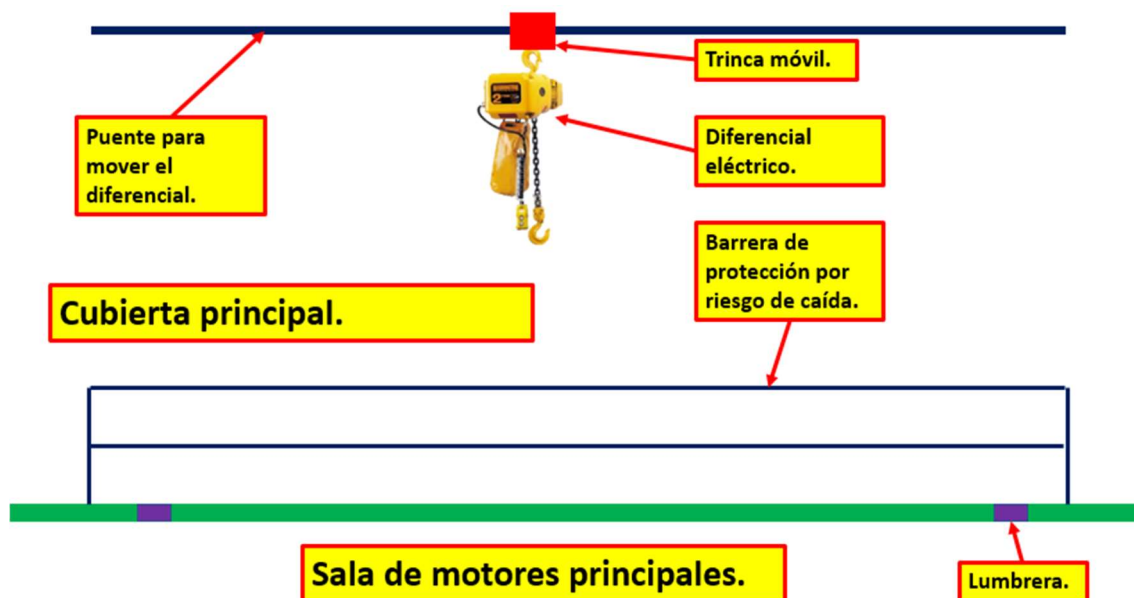
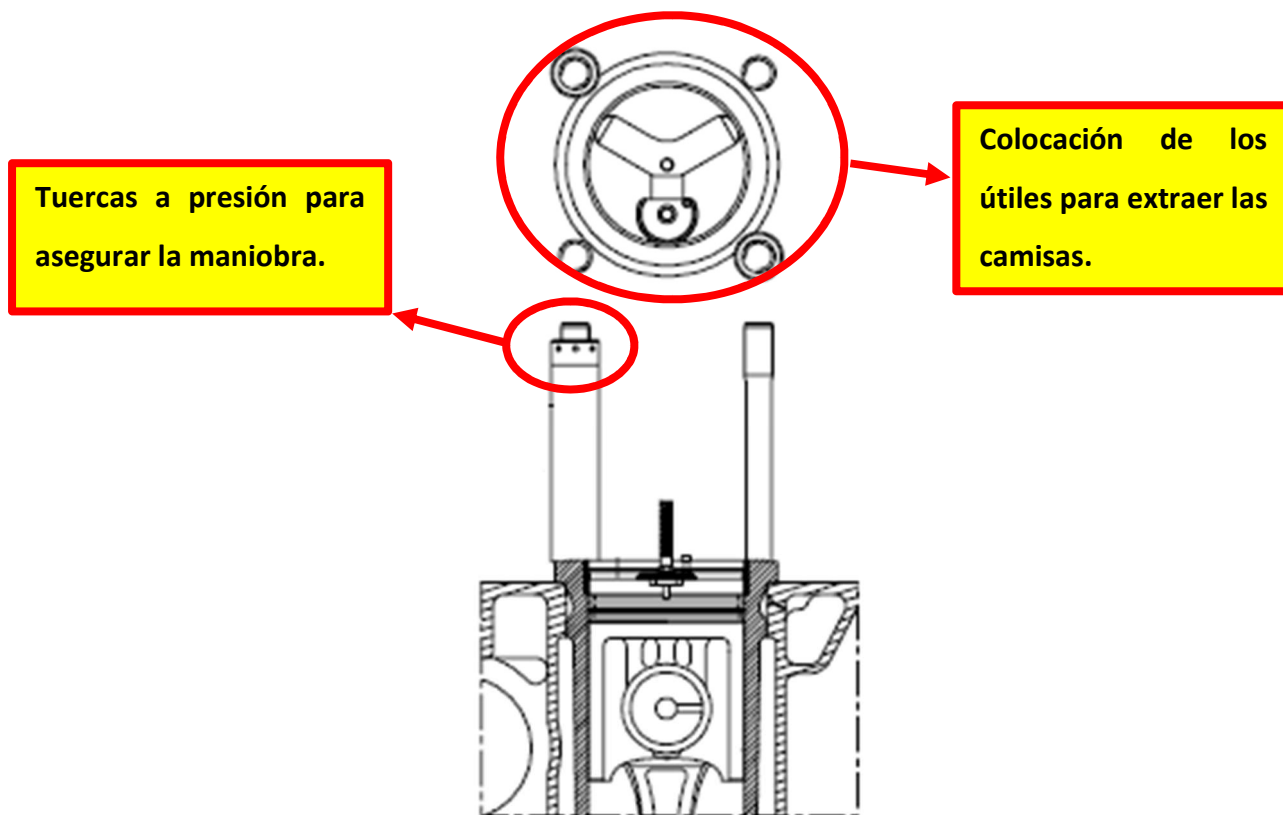
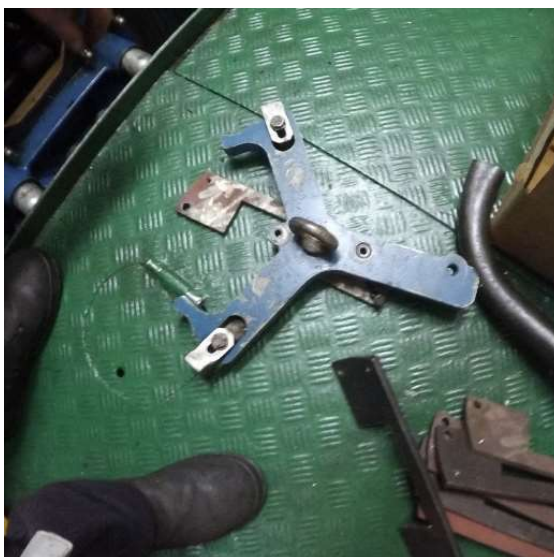


Ilustración 40. Esquema de la maniobra preparada para extraer elementos a la cubierta principal.  
Fuente: Elaboración propia.

Estas camisas van unidas a las culatas por medio de una junta, en las cuales se encuentran ligeras cavitaciones, las cuales han deformado la junta. Se cambian dichas juntas y se refuerza empleando un sellador.



*Ilustración 41. Detalle útil extracción de camisas. Fuente: Trabajo de campo.*



*Ilustración 42. Útil extracción de camisas. Fuente: Trabajo de campo.*

*“PROTOCOLO Y ESTUDIO DEL MONTAJE DE UN CIGÜEÑAL A BORDO DE UN BUQUE  
MERCANTE CONVENCIONAL”*



*Ilustración 43. Maniobra extracción camisas. Fuente: Trabajo de campo.*



*Ilustración 44. Juntas y sellador de las camisas. Fuente: Trabajo de campo.*

### 5.2.3 Sustitución del Damper antivibración

Un Damper antivibración es un elemento diseñado para reducir las vibraciones producidas por el motor. Además de esto se encarga del contrapesado del cigüeñal, para evitar posibles flexiones en el mismo.

Se sustituye este elemento suponiendo que este dañado y pueda ser el síntoma de las deformaciones encontradas en el cigüeñal y en el motor.

Para extraer este elemento es necesario desmontar la tapa de la proa del motor, para poder acceder al Damper. Una vez desmontada la tapa y a la vista el Damper será necesario el uso de vaso hexagonal específico, acoplada a una llave multiplicadora de fuerza, que como su nombre indica multiplicará la fuerza aplicada por el operario.

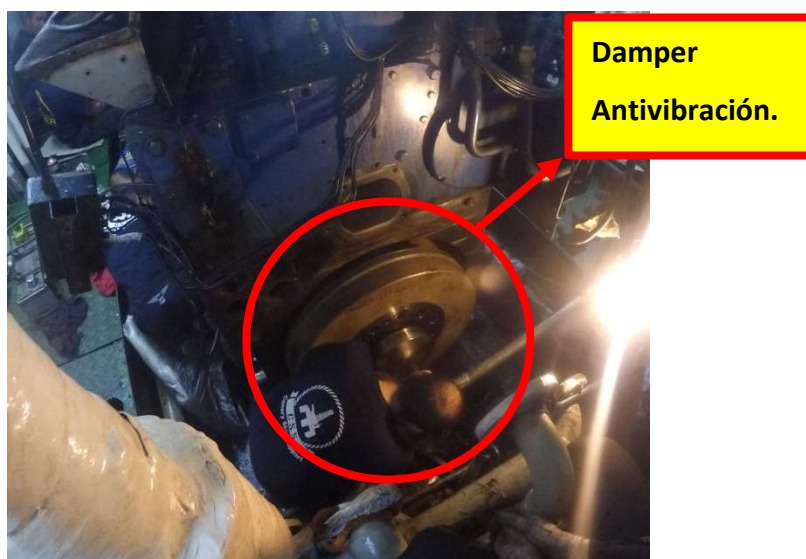


Ilustración 45. Desmontaje del Damper Antivibración. Fuente: Trabajo de campo.

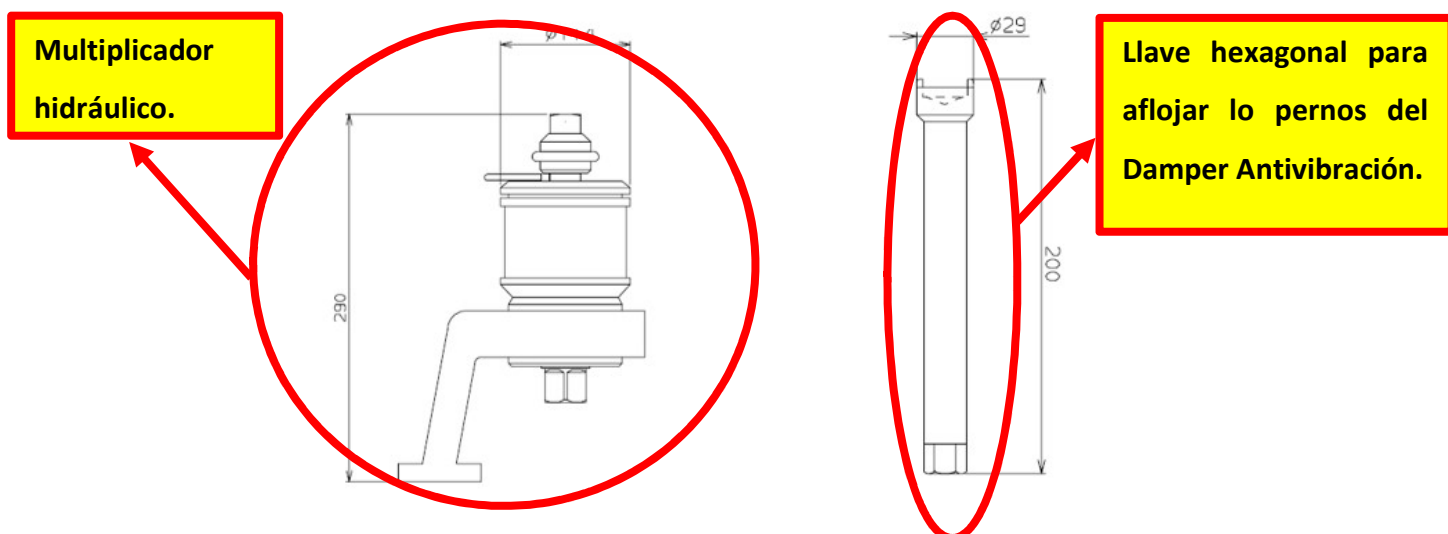


Ilustración 46. Útiles empleados para la extracción del Damper Antivibración. Fuente: [8].



Los pernos del Damper se han de aflojar con un orden, establecido por el fabricante, al igual que el desmontaje al montar el nuevo se deberá seguir un procedimiento de apriete establecido por el fabricante.

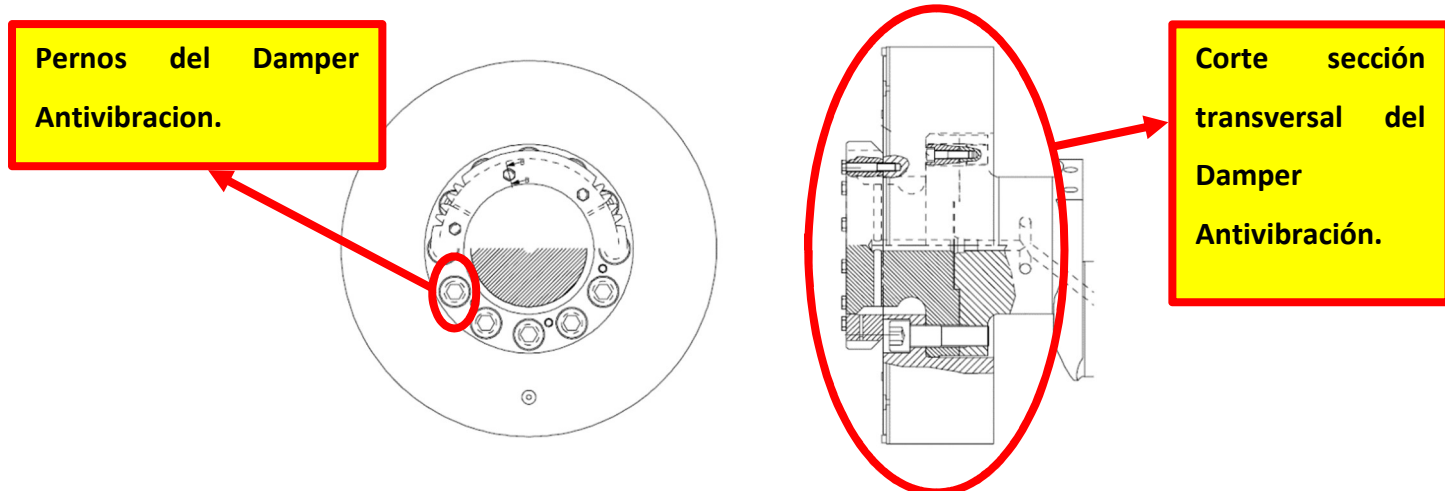


Ilustración 47. Detalle Damper Antivibración. Fuente: [8].



Ilustración 48. Damper Antivibración desmontado. Fuente: Trabajo de campo.

Una vez montado el Damper, se monta de nuevo el motor, y finalizados los trabajos de la varada. Se pasa a realizar los preparativos para las pruebas de mar, una vez estas han sido superadas, se prepara la botadura del buque al agua.



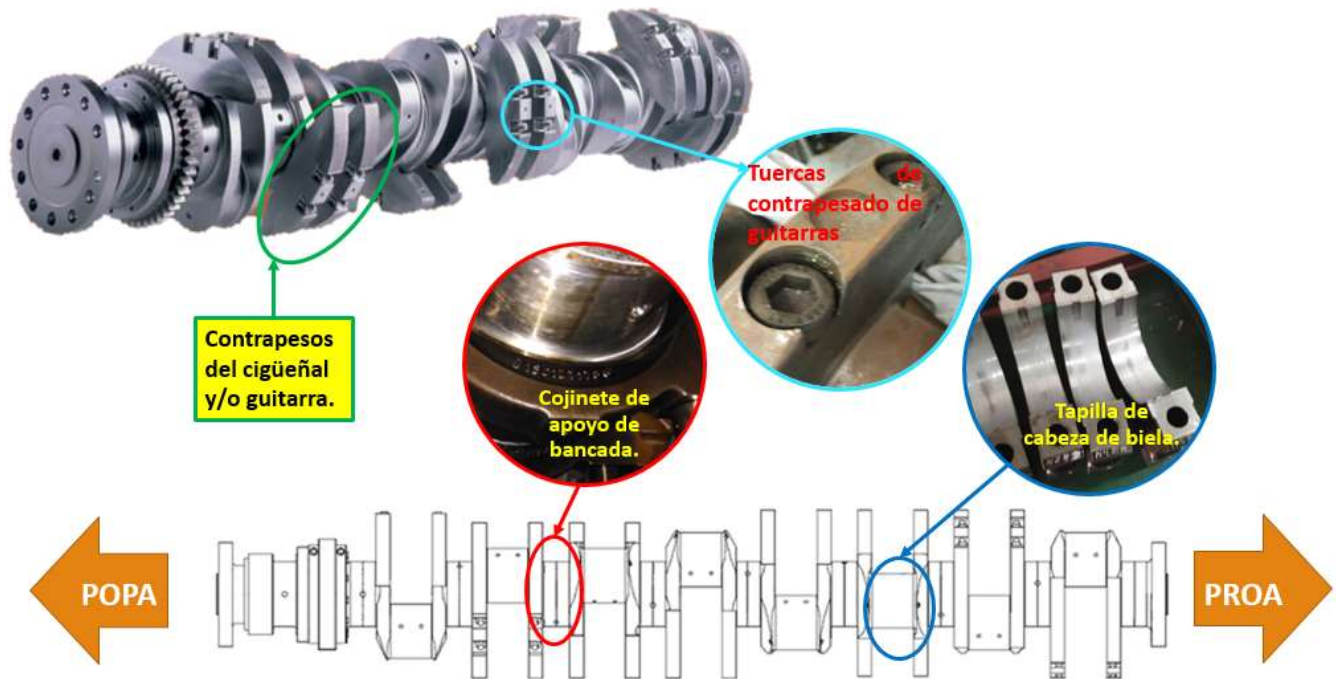
*Ilustración 49. Vista desde la lumbra del motor en la cubierta principal del montaje del motor. Fuente: Trabajo de campo.*

## 5.2.4 Partes de un cigüeñal y toma de flexiones

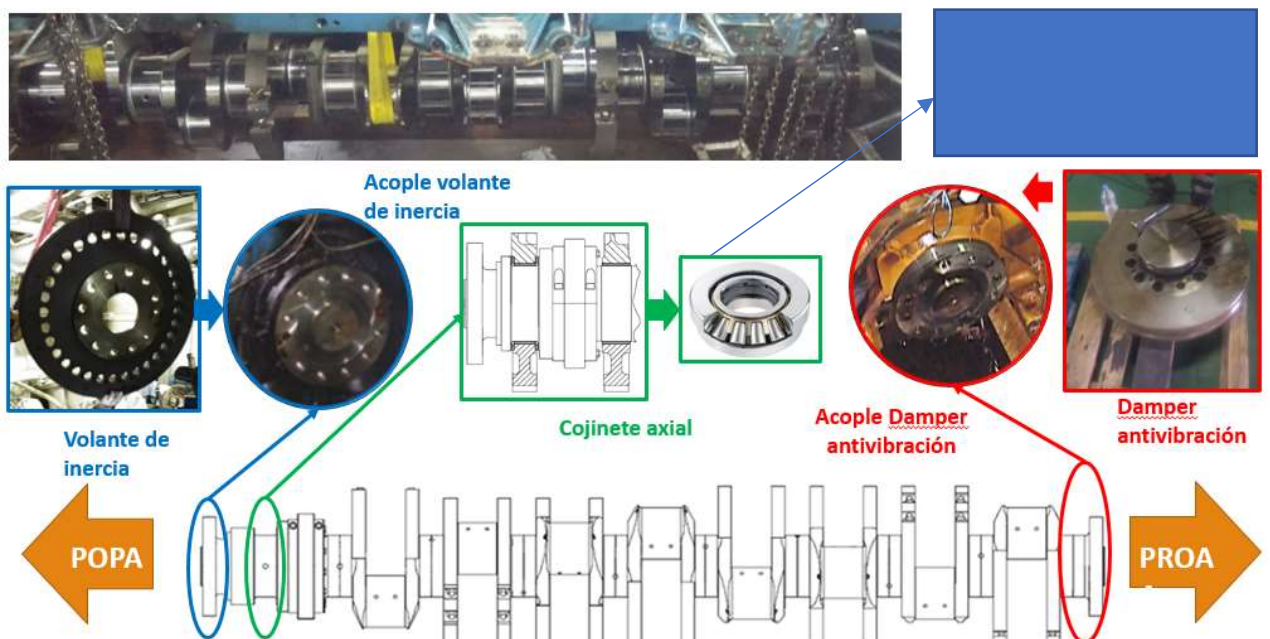
Antes de continuar con el proceso de cambio de cigüeñal, se realizará una breve esquematización de las partes y elementos que componen un cigüeñal. además de una explicación de lo que es una toma de flexiones.

### 5.2.4.1 Partes de un cigüeñal

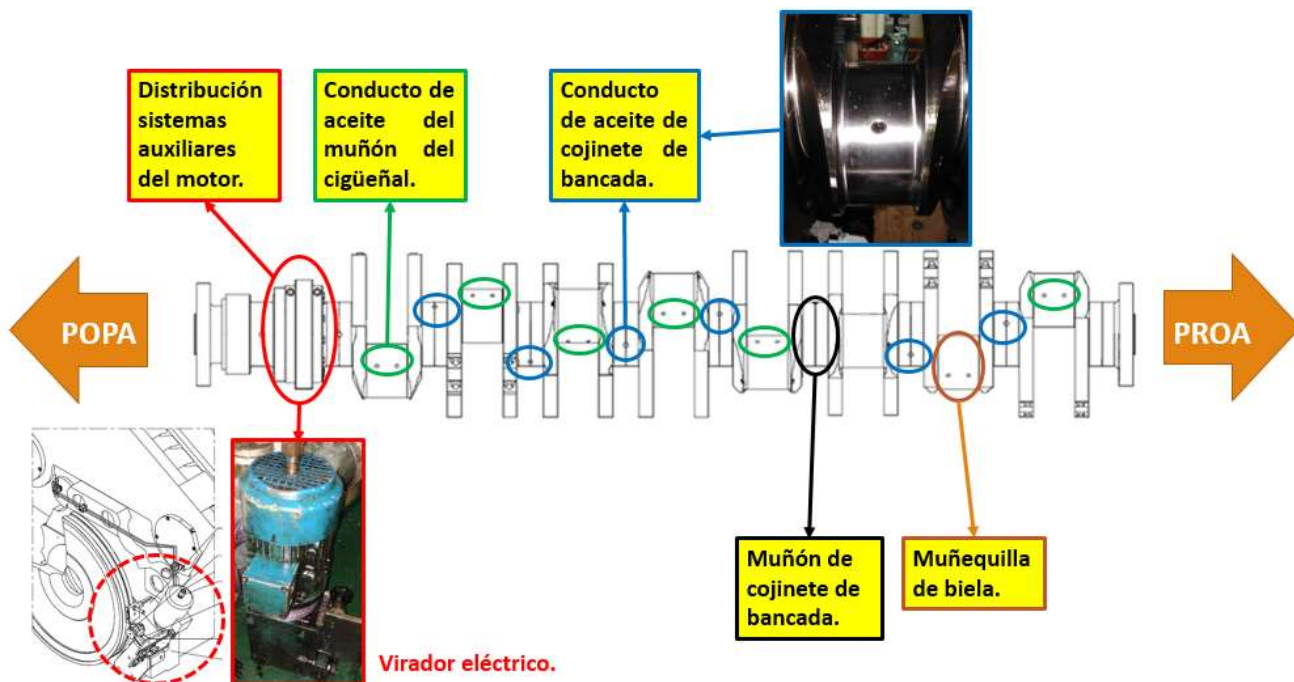
- Los puntos de apoyo y los contrapesos del cigüeñal [8].



- Ubicación del volante de inercia, el Damper antivibración y el cojinete axial [8].



- Ubicación del piñón de distribución de los sistemas auxiliares del motor, los conductos de aceite de los muñones del cigüeñal.



### 5.2.4.2 Toma de flexiones

Como ya se comentó esta prueba se realiza para detectar posibles deflexiones en el cigüeñal, produciendo así una mala alineación del mismo. Alrededor de un 90% de las roturas de cigüeñales son producidas por este motivo, de ahí la importancia de que estas mediciones se efectúen periódicamente.



Ilustración 50. Detalle del micrómetro digital. Fuente: [13]

Las fracturas por mala alineación se producen en las zonas de concentración de esfuerzos, cerca de las bielas. Mediante el empleo del micrómetro se puede conseguir un control rápido de los cojinetes de bancada. El micrómetro es un aparato comprobador con un reloj micrométrico, con el cual se pueden medir la abertura o cierre de las manivelas, y así determinar que descansos están fuera de nivel y efectuar las alineaciones correctas.

Para realizar las mediciones el aparato de medida debe ir colocado en forma paralela al muñón de biela, una vez colocado se establecerá el valor 0 y se mantendrá en la misma posición hasta que se hayan tomado todas las mediciones. A la hora de tomar las medidas el aparato nos dará unos valores positivos (+) y negativos (-). Estos valores deberán anotarse en las mediciones, nos advierten de la posición del valor ya sea por debajo de nuestro valor 0 (cierre) o por encima (abertura).



Ilustración 51. Detalle de apertura o cierre del cigüeñal. Fuente: 13.

Normalmente los descansos de bielas tienen una pequeña muesca en la que se ubicara el micrómetro, como se muestra en la ilustración [n]. el control se efectúa cilindro por cilindro, hasta obtener todas las flexiones.

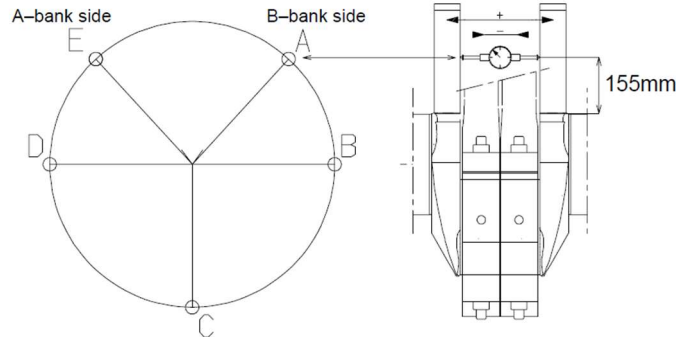


Ilustración 52. Posición del palpador del micrómetro en las garras del cigüeñal. Fuente: [8].

Antes de comenzar con las mediciones se han de extraer las tapas del boque para acceder a los asientos del cigüeñal, previamente el motor ha de estar fuera de servicio al menos 4 horas. Una vez extraídas las tapas colocamos el micrómetro, en el pistón que se encuentre en la posición de punto muerto inferior (PMI), y comenzamos a girar el cigüeñal empleando para ello el virador hasta llegar a la posición de punto muerto superior (PMS) en el que como no podemos mantener el instrumento de medida, debido a que la biela nos lo impide, tomaremos dos medidas “A” y “E”.

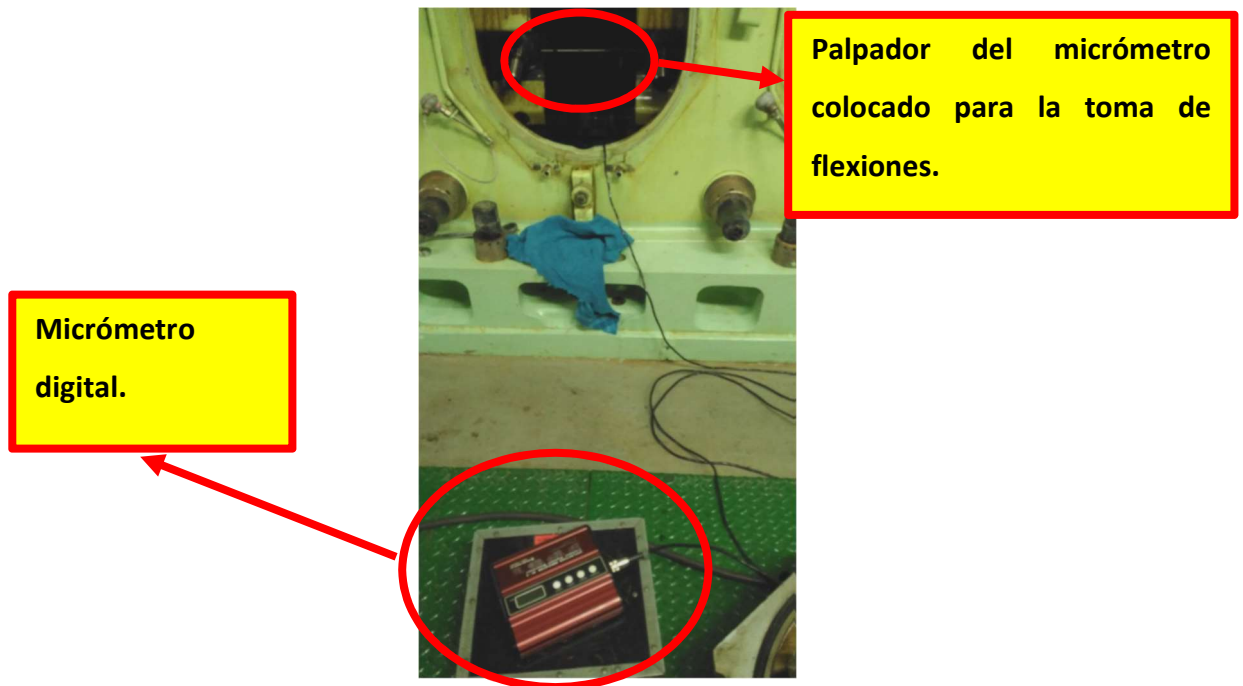


Ilustración 53. Toma de flexiones. Fuente: Trabajo de campo.

Por lo general los fabricantes se encargan de proporcionar valores límite de deflexión, estos se comparan con los obtenidos previamente, debiendo estar entre los valores permitidos, si no se tendrá que realizar un alineamiento.



Ilustración 54. Tabla ejemplo de la deflexión de un cigüeñal. Fuente: [13].

Las averías como las que se tratan en este Trabajo de Fin de Grado, pueden ser producidas por diversos factores, como pueden ser:

- Mala alineación del motor.
- Mal contrapesado y regulado del volante de inercia.
- Mal estado del Damper Antivibración, el cual no absorba las vibraciones del motor y este hecho vaya produciendo una deflexión del cigüeñal.
- Mala colocación de los tacos de bancada.
- Avería en el bloque que produzca la deformación del cigüeñal.
- Mal mantenimiento del motor.

### 5.3 Descripción del proceso del cambio de cigüeñal

Después de realizar las pruebas de mar, el buque Volcán de Tindaya navega alrededor de 10 minutos. Hasta que detecta un funcionamiento, vibraciones y ruidos anormales en el motor de babor. En este momento decide hacer una parada de emergencia en dicho motor.

El buque vuelve al Puerto de La Luz y realiza una parada técnica en el muelle Primo de Rivera para comprobar daños y si es posible llevar a cabo las reparaciones pertinentes.

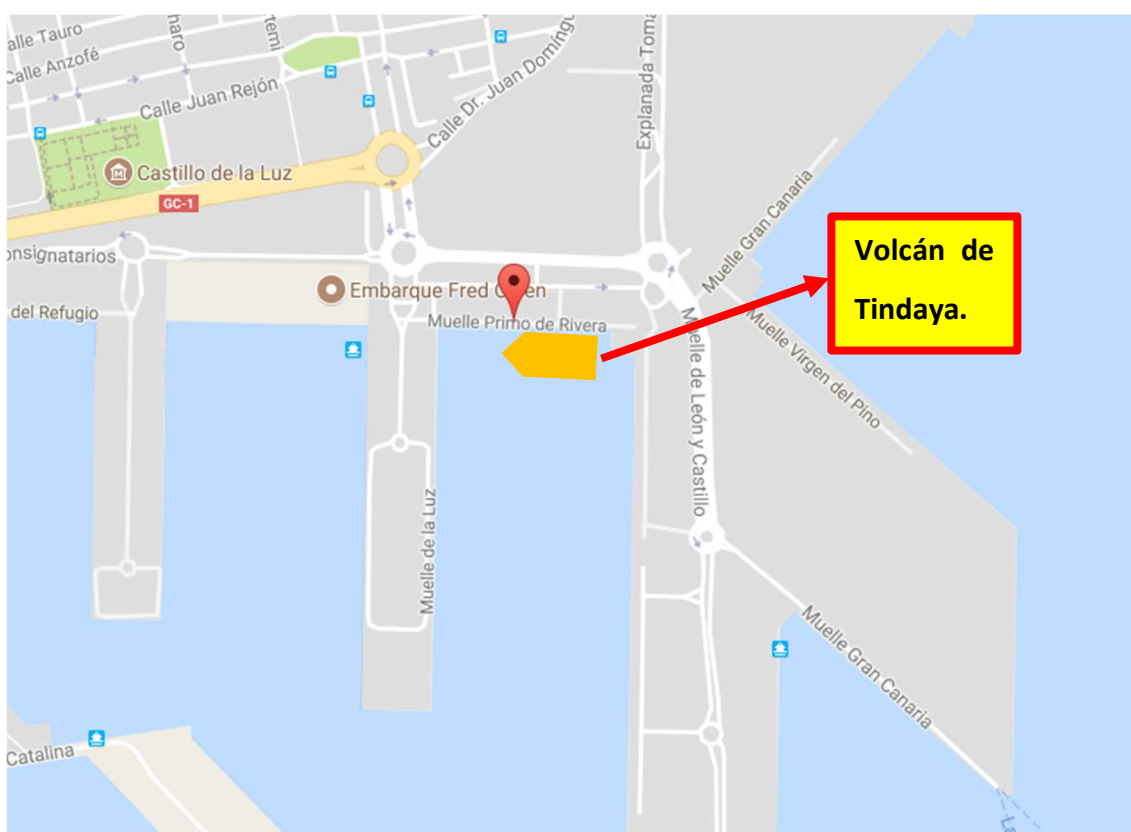


Ilustración 55. Ubicación del Muelle Primo de Rivera. Fuente: [14].

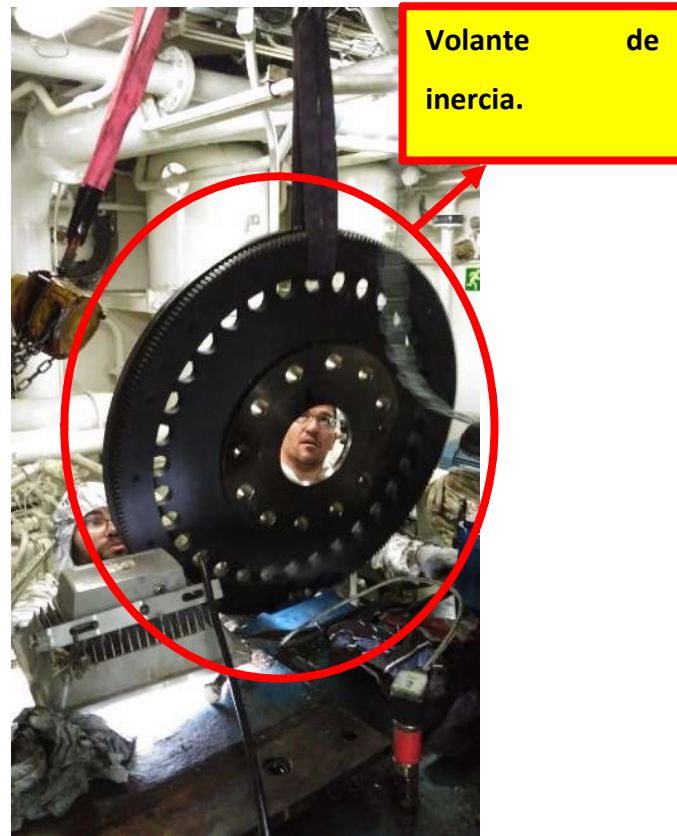
Al abrir los registros del cárter, se descubre daños graves en el tren alternativo, principalmente en la biela número 3. Se decide realizar un desmontaje de la biela dañada, se observan daños irreparables en el cigüeñal al quedar pegada la tapilla de la cabeza de biela al mismo y esta rayar toda la muñequilla de biela del cigüeñal. El fabricante del motor propone el cambio del cigüeñal por uno nuevo, este trabajo es aprobado por el armador y la Sociedad de Clasificación. De esta reparación se encargan los talleres externos FEROTHER, supervisados por los técnicos de Wärtsila. Toda la reparación se lleva a cabo con el buque atracado en el muelle Primo de Rivera en el Puerto de La Luz en Las Palmas de Gran Canaria.





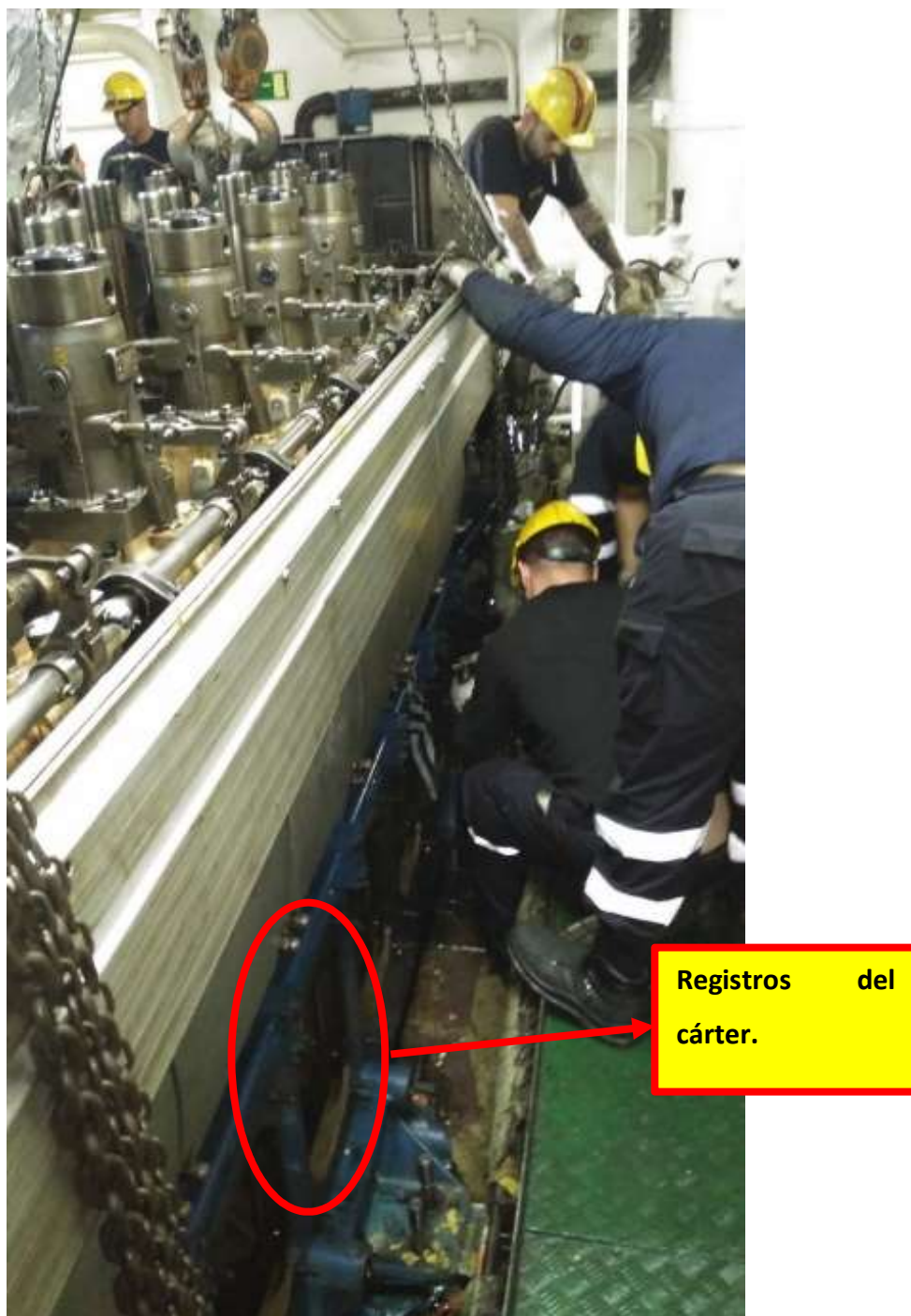
Ilustración 56. Detalle de los daños en la biela. Fuente: Trabajo de campo.

Una vez aprobado el trabajo, se procede al desmontaje del motor para aligerar el peso del bloque para su izado. Para este procedimiento, se sigue el mismo procedimiento que en el del Overhaul, como son desinstalar el motor, se desconecta cableado eléctrico, tuberías de combustible, agua dulce, agua salada, aire de arranque, se desmontan líneas de escape y admisión, en este caso se deberá desacoplar del eje de la reductora y se desmontaran el volante de inercia y el Damper antivibración, para que permita la maniobra de extracción del cigüeñal y aligerar así el peso del bloque.



*Ilustración 57. Desmontaje y extracción del volante de inercia. Fuente: Trabajo de campo.*

Los procedimientos de desmontaje, como son la extracción de las culatas, bombas de inyección, trenes alternativos y camisas, se explicaron previamente en el apartado 5.2 *Averías y trabajos durante la varada.*



*Ilustración 58. Operarios aflojando las tuercas de presión. Fuente: Trabajo de campo.*

En el proceso de desmontaje del cigüeñal se pueden ver claramente los daños producidos por la avería. Las más destacadas las tapillas de las cabezas de biela, que se encontraban gravemente dañadas, con notables pérdidas de material. Además de estas, la gran mayoría de muñequillas de biela del cigüeñal, se encuentran arañadas.

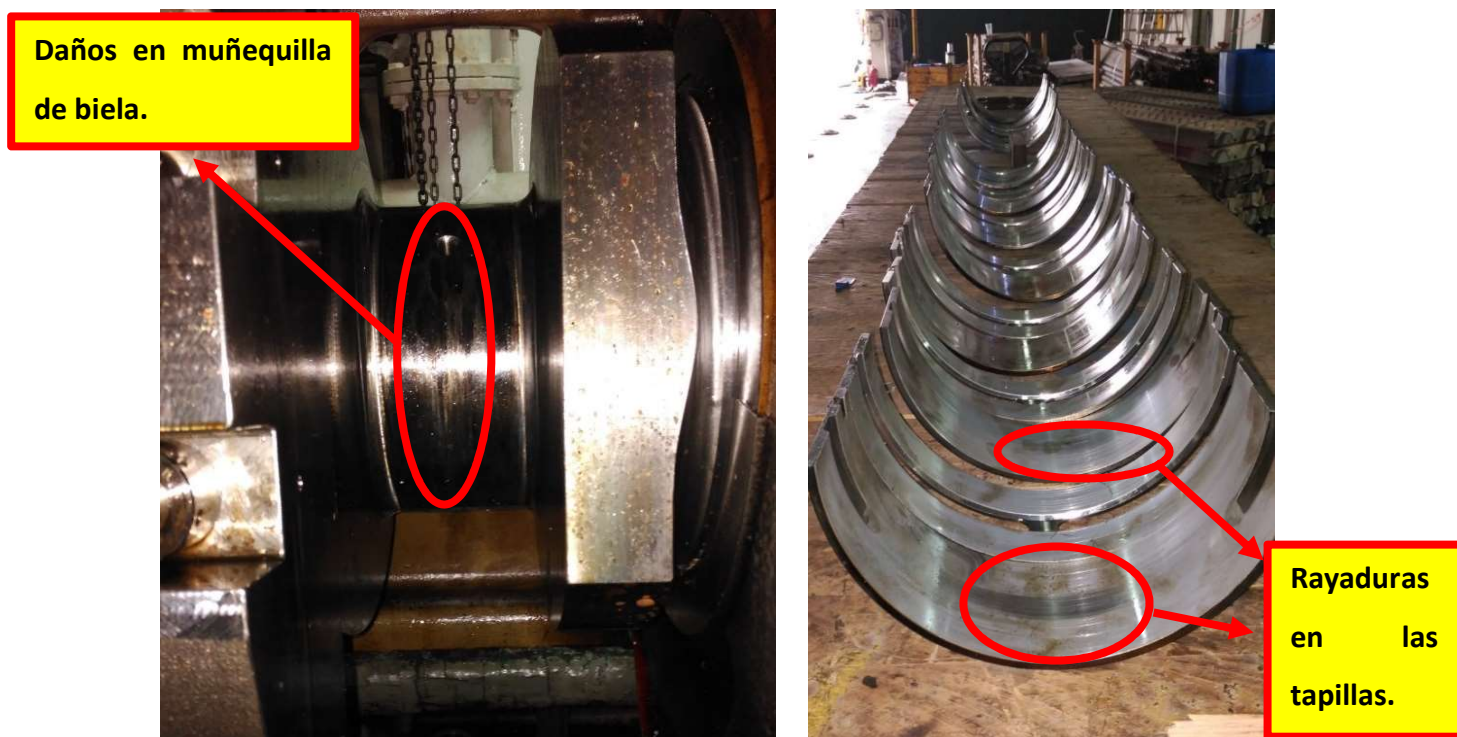


Ilustración 59. Daños en muñequilla del cigüeñal y tapillas de biela. Fuente: Trabajo de campo.

Además de esto se realiza un estudio de cargas en la estructura de la cubierta principal, para fabricar un pórtico que soporte el peso del bloque motor y el cigüeñal en la maniobra de izada de los mismos. Este pórtico se suelda al tecla de la cubierta principal.

El peso total del bloque motor después de ser aligerado es de 10 Tm. El cigüeñal se encuentra dentro del mismo y en el momento de la izada del bloque saldrá solidario con él. En total el peso a izar serán 14 Tm. (10 Tm. Del bloque y 4 Tm. Del cigüeñal). Para la maniobra de izada del bloque se emplearán 4 diferenciales de 5 Tm. Se colocarán en el pórtico y se preparará en el bloque una maniobra establecida por los técnicos de Wärtsilä para llevar a cabo el trabajo.

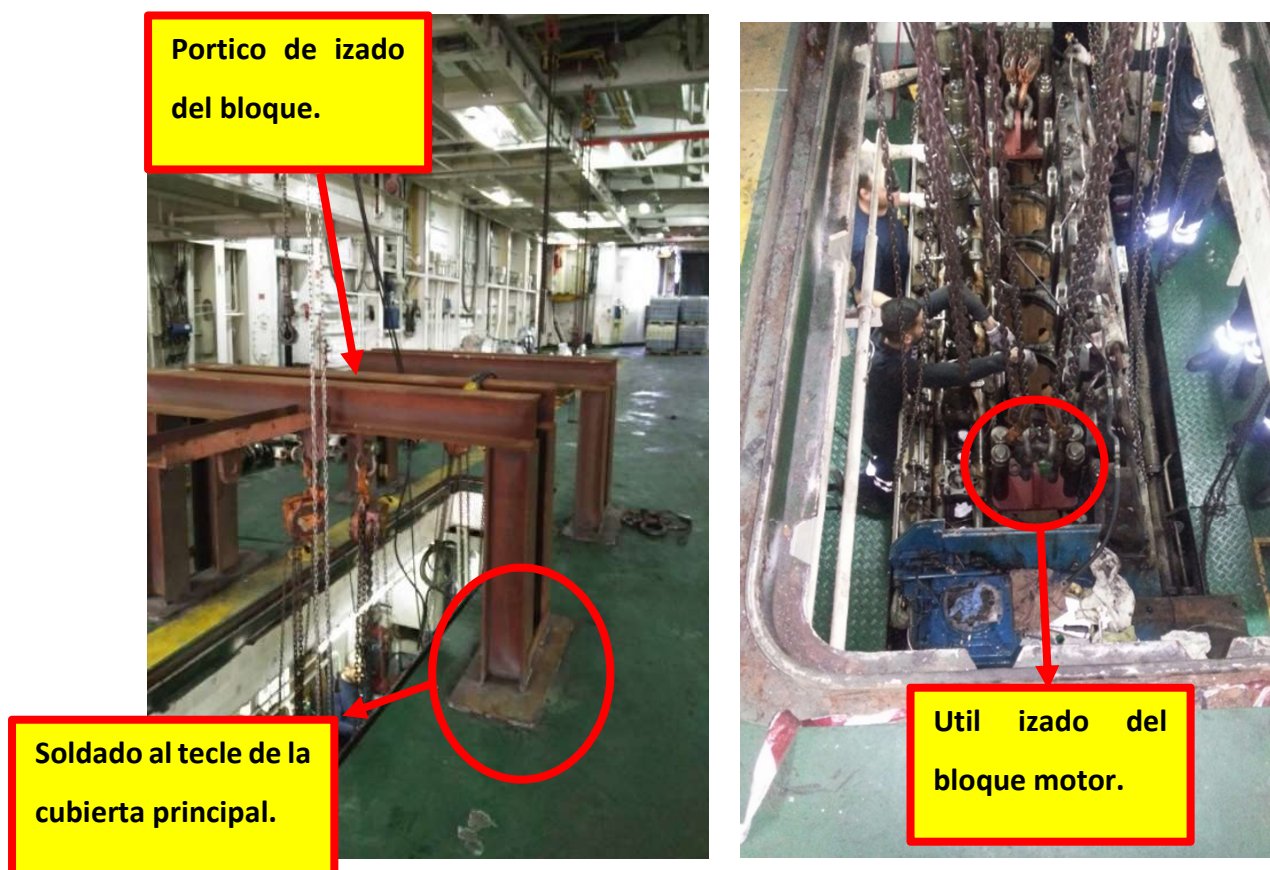


Ilustración 60. Detalle de la maniobra de izado del bloque. Fuente: Trabajo de campo.

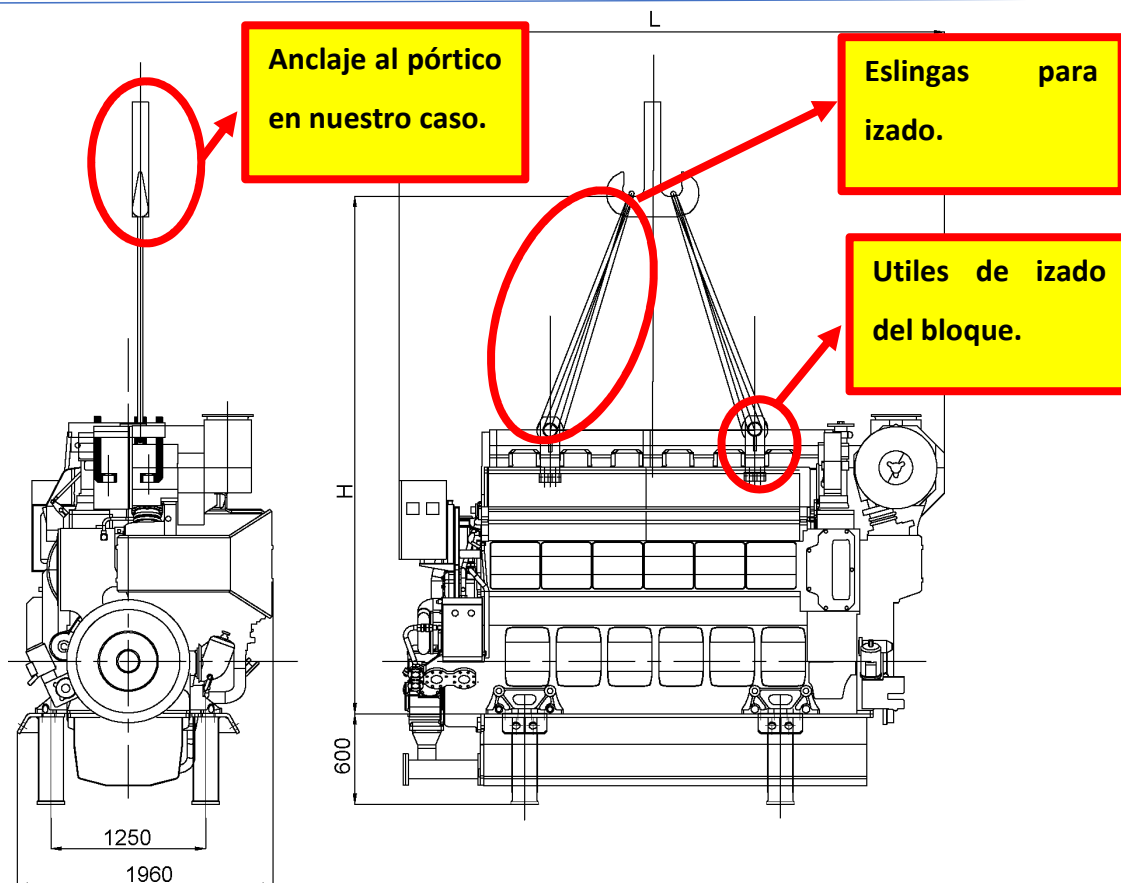


Ilustración 61. Colocación de los útiles de izado en el bloque. Fuente: [8].

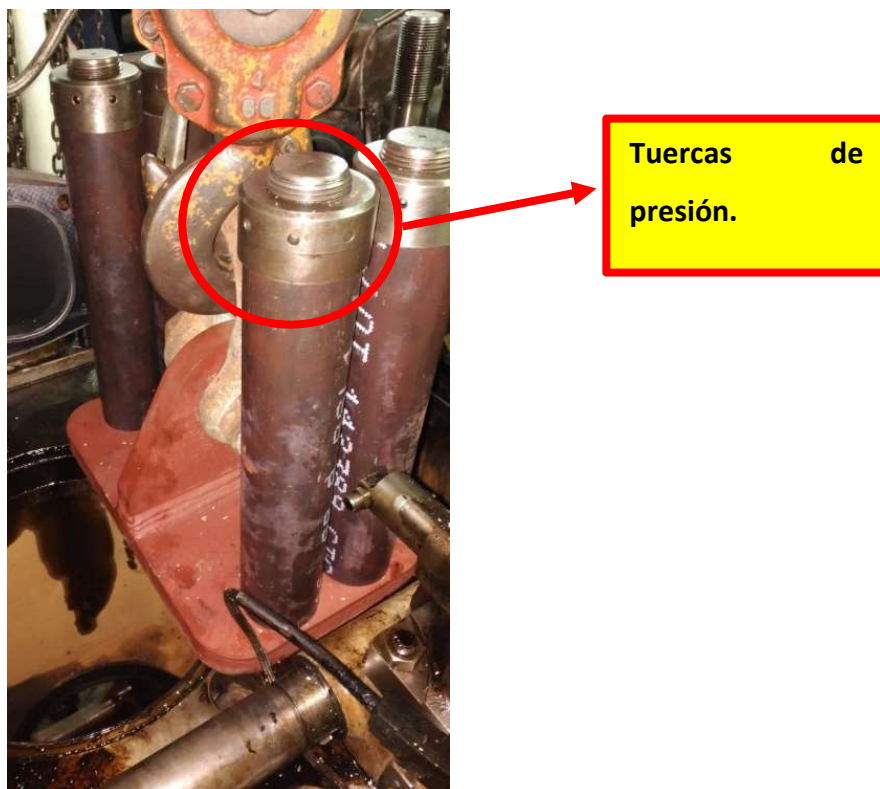


Ilustración 62. Detalles de útiles empleados para el izado. Fuente: Trabajo de campo.

Cuando ya se ha colocado la maniobra y asegurado el bloque, es necesario desmontar los tacos de la bancada del mismo.



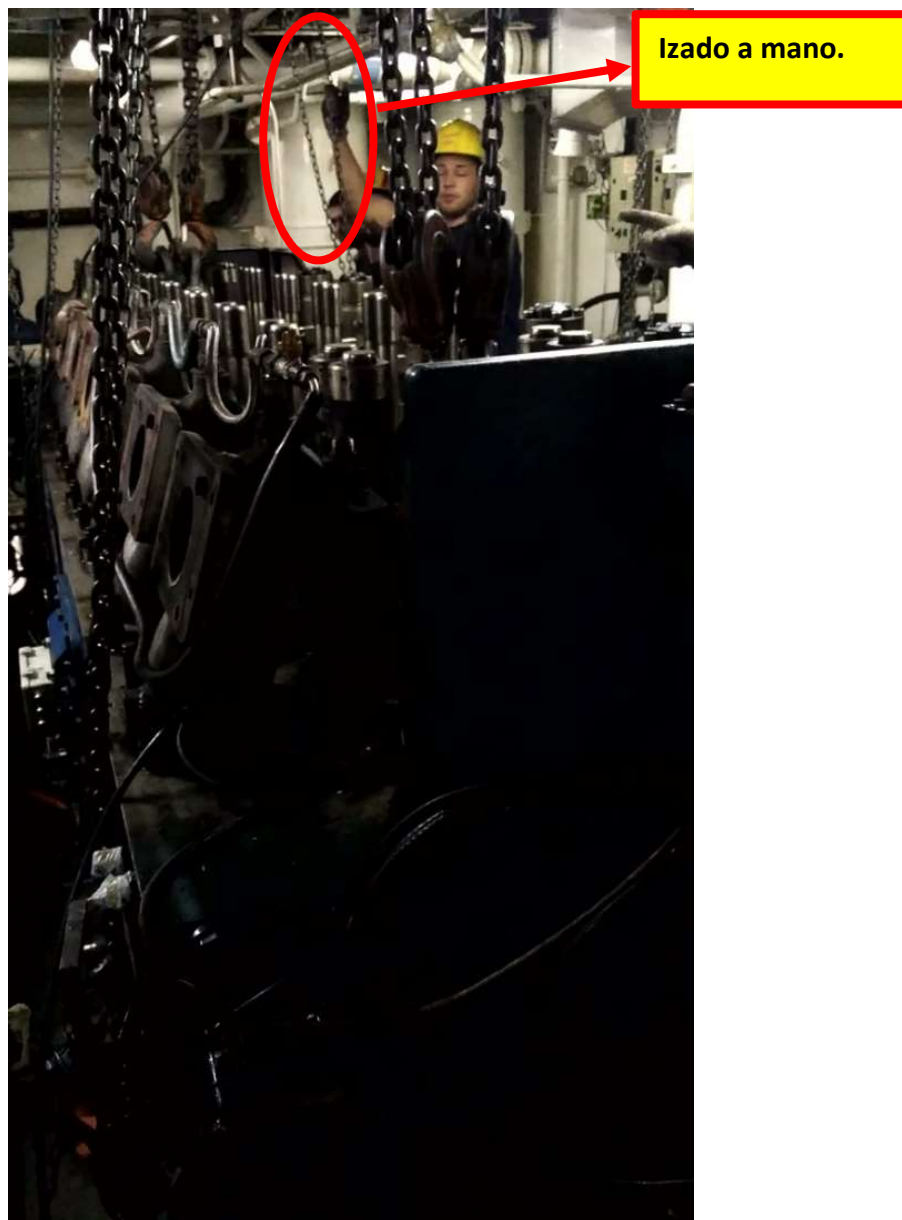
*Ilustración 63. Detalle de los tacos del bloque motor. Fuente: Trabajo de campo.*

Una vez finalizado el procedimiento de aligeramiento del bloque motor, preparada la maniobra de izada, desmontados los tacos de la bancada y enviados los elementos como camisas, trenes alternativos, enfriadores, bombas de inyección, etc. para su acondicionamiento por si se encontraran restos de viruta por la pérdida de material, se procede a realizar la maniobra de izado del bloque, para poder llevar a cabo el montaje del cigüeñal nuevo.



*Ilustración 64. Bloque motor aligerado para el izado. Fuente: Trabajo de campo,*

La maniobra de izado del bloque se realiza a mano, empleando los diferenciales colocados en el pórtico montado en la cubierta principal. El proceso es revisado en todo momento por los técnicos de Wärtsilä. Se trata de una maniobra delicada, debido a que un fallo en el cálculo de pesos o el izado no a la par del bloque pueda remitir en daños en estructura del buque o sobre vidas humanas.



*Ilustración 65. Izado del bloque. Fuente: Trabajo de campo.*



Una vez izado el bloque, se siguen una serie de pautas para realizar el cambio del cigüeñal:

1. Se asegura el bloque empleando para ello tacos de madera colocados en la bancada.
2. Se limpia el cárter húmedo.
3. Se cambia la maniobra para aflojar el cigüeñal (explicado detalladamente en el apartado 5.4 *Esquemas y explicación de las etapas de la maniobra de cambio de cigüeñal*). para la maniobra se emplean 3 diferenciales de 2 Tm. Que se colocaran en el pórtilo montado en la cubierta principal y 2 diferenciales de 1 Tm. empleados para preparar una retenida para llevar el cigüeñal hasta una posición que permita su extracción.
4. Una vez asegurado el cigüeñal con los diferenciales, se procede a aflojar las tuercas de presión, para aflojarlas se emplean los mismos útiles que los empleados para aflojar las tuercas a presión de las bielas y las culatas. Estas tuercas están apretadas a 970 kg. Se les va aplicando presión con la bomba hidráulica, y se van aflojando gradualmente.

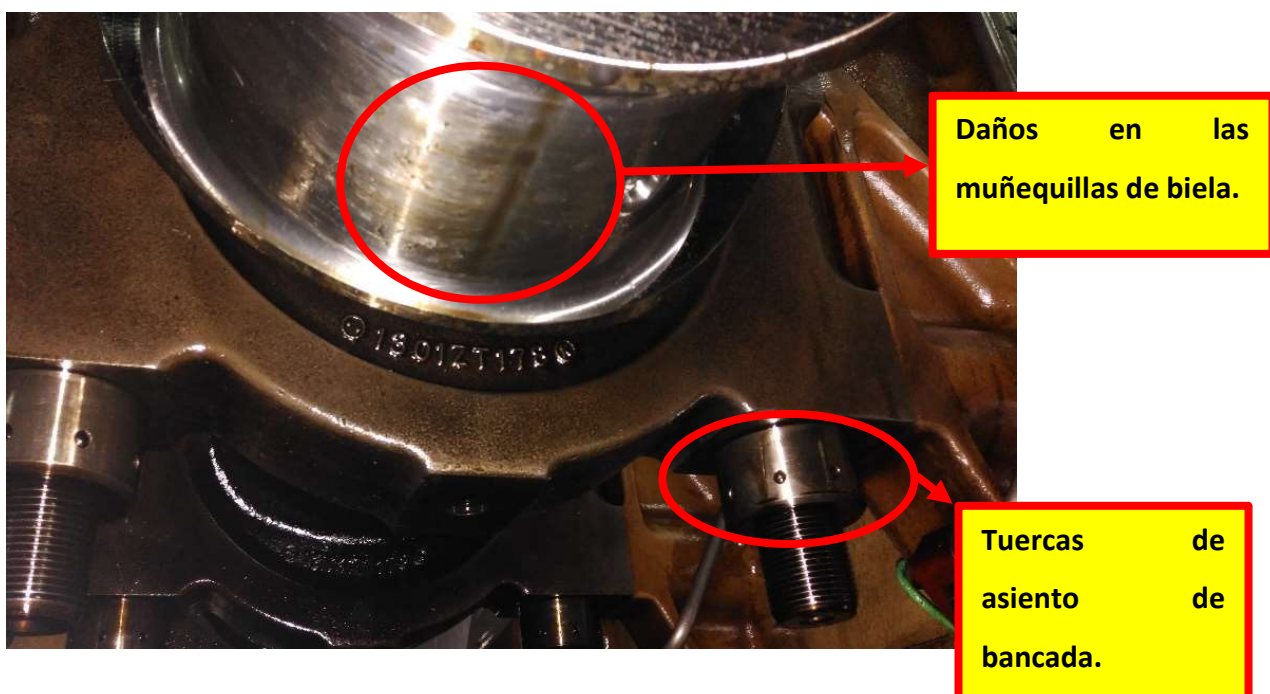


Ilustración 66. Cigüeñal y tuercas de asiento de bancada. Fuente: Trabajo de campo.

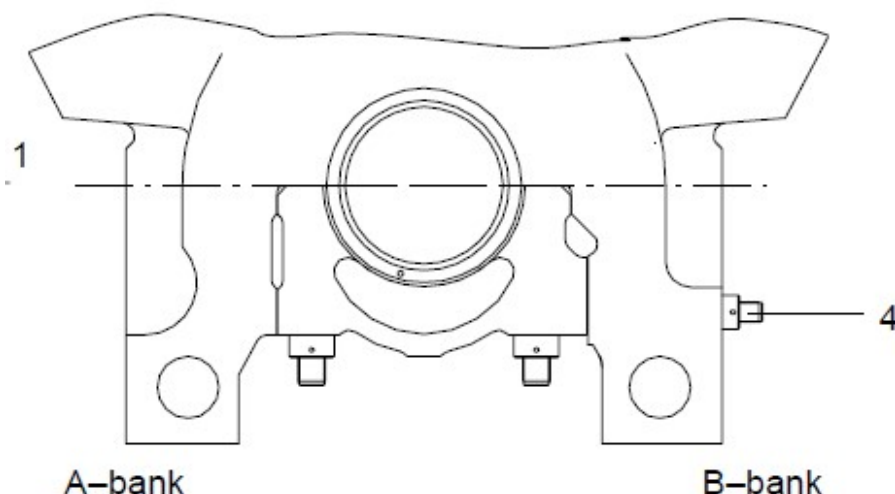


Ilustración 67. Detalle de las tuercas de presión del asiento de bancada. Fuente: [8].

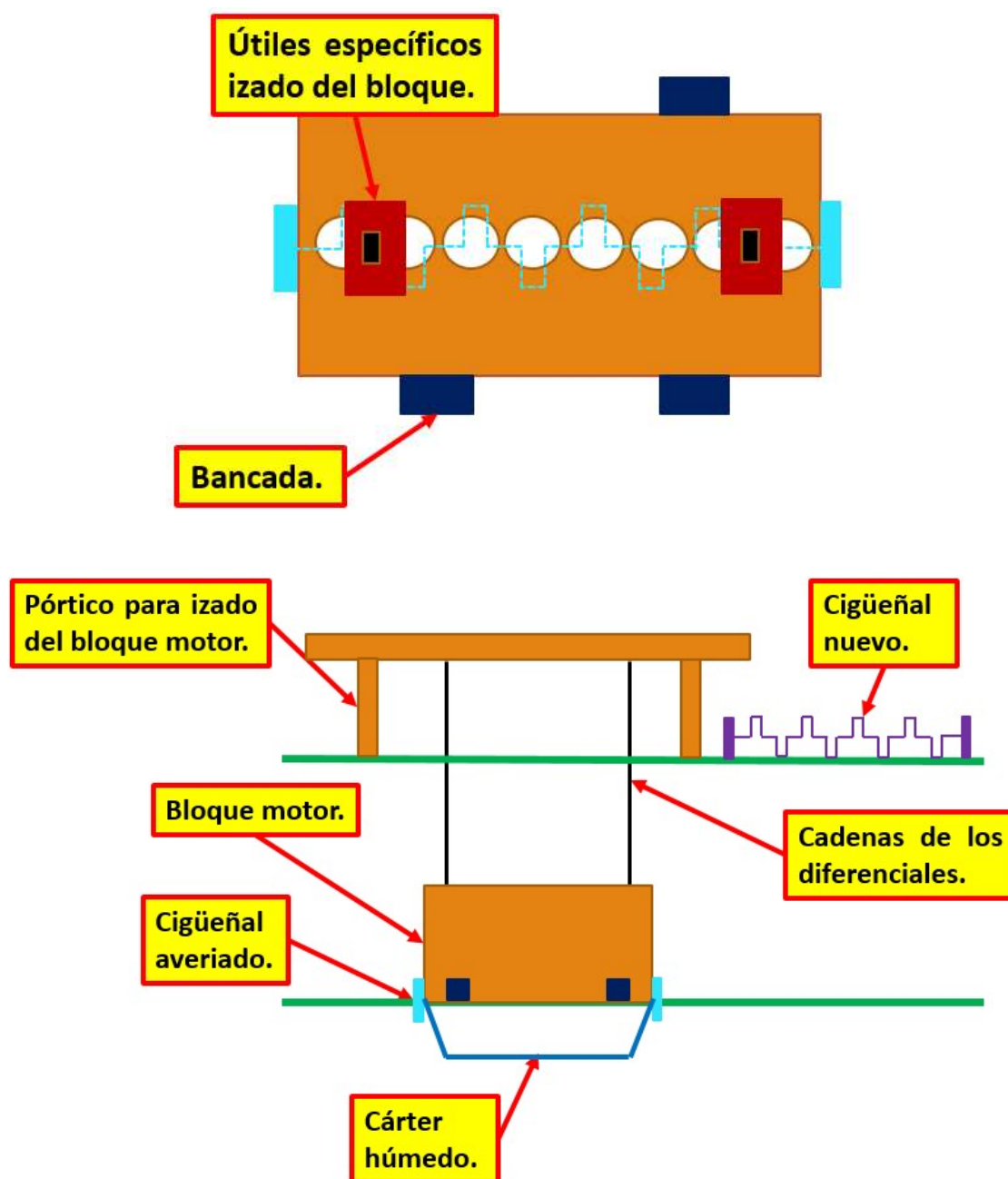
5. Con el cigüeñal este suelto, se arria hasta separarlo ligeramente del bloque y este se inclina hacia una banda, dando una cierta inclinación para poder extraer el cigüeñal. para inclinarlo se emplean 2 diferenciales de 3 Tm. que se colocan en unas orejetas dispuestas en la sala de máquinas.
6. Ahora que se ha inclinado el bloque y se ha arriado el cigüeñal se colocan los 2 diferenciales de 1 Tm. en unas orejetas dispuestas en la sala de máquinas en la banda donde se quiere extraer el cigüeñal (el lado contrario al que se ha inclinado el bloque), estos diferenciales se colocan para poder ubicar el cigüeñal fuera del bloque. Una vez fuera de este se asienta en el tecla de la sala de máquinas y se cambia la maniobra para extraerlo por la lumbrera hacia la cubierta principal

La maniobra de izado y desmontaje del cigüeñal viene explicada esquemáticamente en el apartado 5.4 *Esquema y explicación de las etapas de la maniobra de cambio de cigüeñal.*

## 5.4 Esquema y explicación de las etapas de la maniobra de cambio de cigüeñal

Para ver más claramente la maniobra realizada, se ha elaborado un sencillo esquema indicando cada una de las etapas realizadas.

1. Una vez aligerado el motor y extraído el tren alternativo del bloque. Se colocan los útiles específicos para el izado en las posiciones indicadas (entre cilindros 1 y 2, y 3 y 6).



2. Se sueltan los tacos y la bancada, se iza el bloque empleando los diferenciales, hasta dejar el bloque suspendido a una altura que permita extraer el cigüeñal. Se colocan tacos de madera para asegurar el bloque izado.

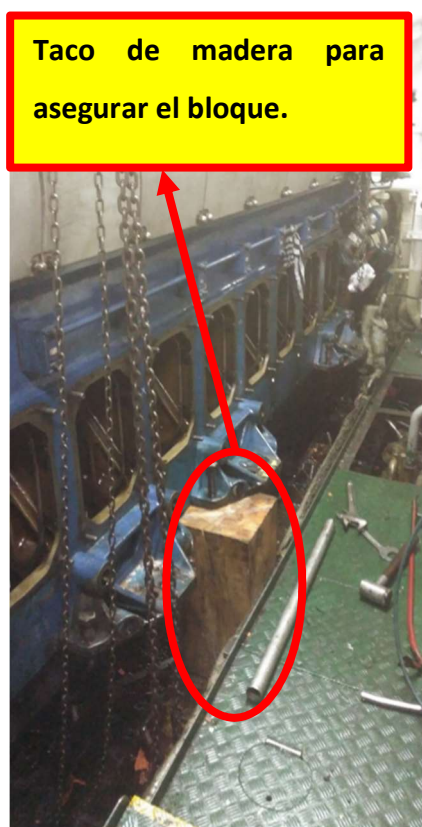
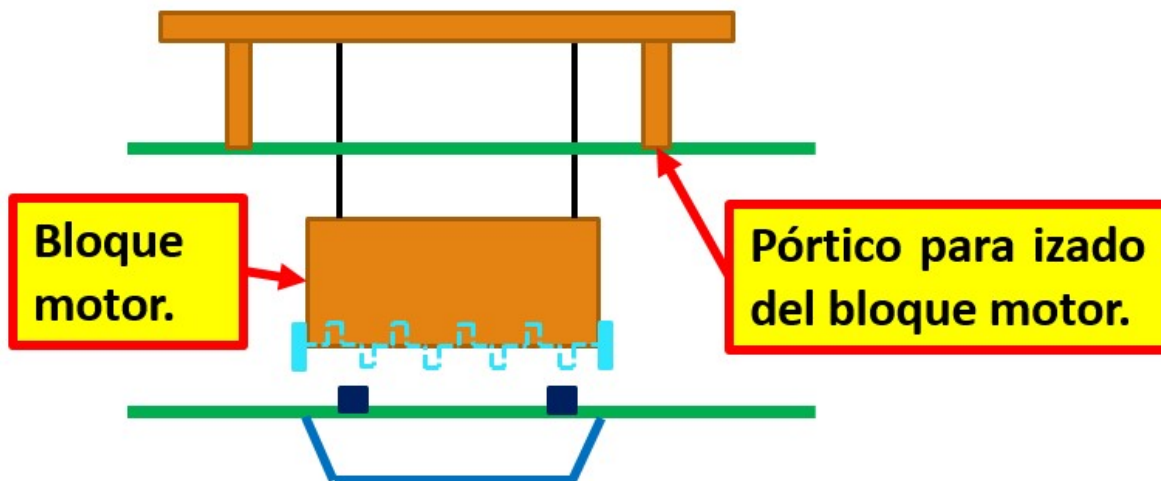


Ilustración 68. Bloque izado. Fuente: Trabajo de campo.

3. Una vez asegurado el bloque, se prepara en el cigüeñal otra maniobra (en los cilindros 3 y 6), empleando cintas que soporten su peso y que permitan el arriado del mismo, una vez se hayan aflojado todos los pernos del asiento de bancada.

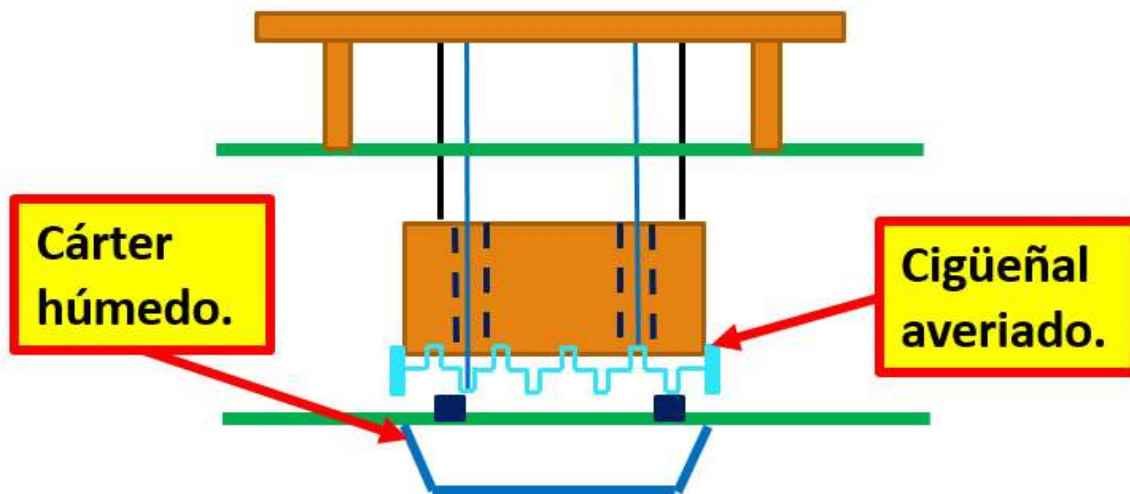


Ilustración 69. Maniobra de arriado del cigüeñal. Fuente: Trabajo de campo.

4. Para poder ubicar el cigüeñal averiado fuera del bloque, se emplean diferenciales que se anclaran a las orejetas de la sala de máquinas.

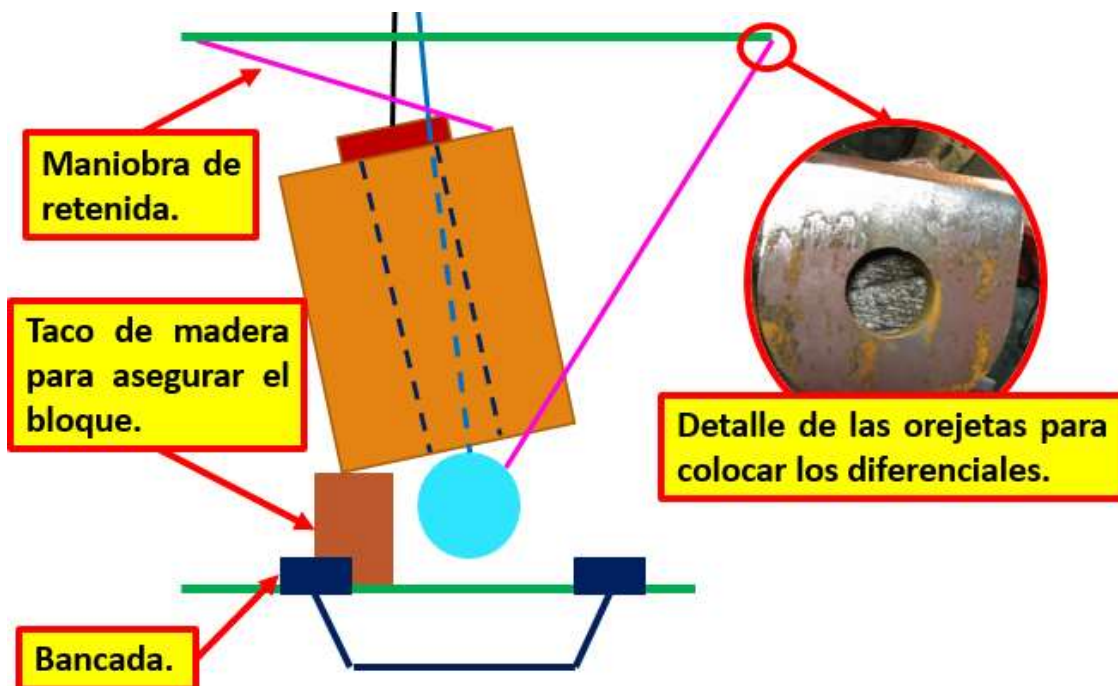
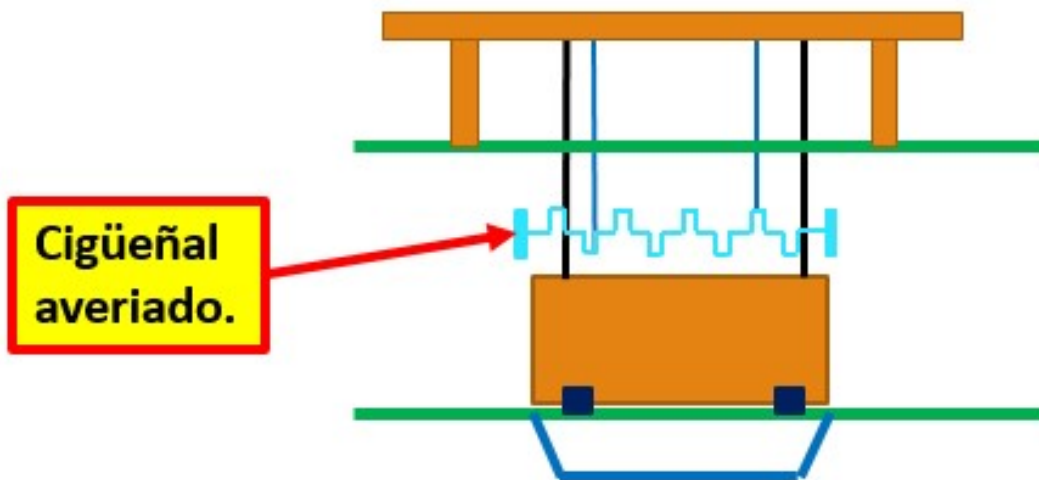


Ilustración 70. Maniobra de extracción del cigüeñal averiado. Fuente: Trabajo de campo.

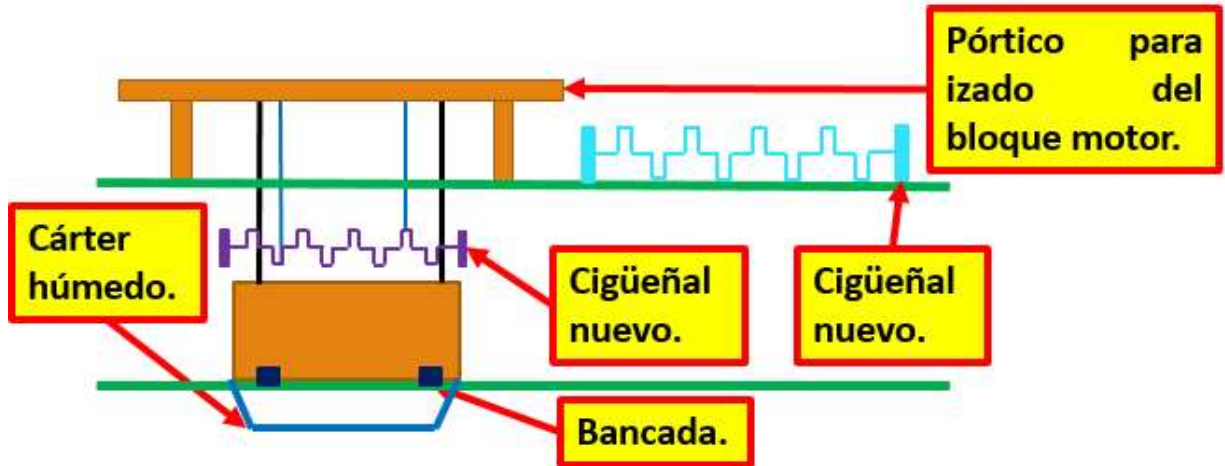
5. Colocado el cigüeñal fuera del bloque y asentado en el tecele de la sala de máquinas, se arria y se asienta en su bancada, para así tener el espacio suficiente para extraer el cigüeñal por la lumbrera de la cubierta principal.



*Ilustración 71. Extracción del cigüeñal por la lumbrera de la cubierta principal. Fuente: Trabajo de campo.*

Una vez situado el cigüeñal en la cubierta principal, se procede a la maniobra para poder colocar el cigüeñal nuevo en el motor. Los pasos a seguir son los mismos que los realizados en el desmontaje del averiado (misma maniobra).

6. Con el bloque asentado en la bancada del motor se arria por la lumbrera de la cubierta principal el cigüeñal nuevo.



7. Para poder colocar el cigüeñal en el bloque, se debe inclinar este último además de ello se emplea una maniobra de retenida tanto en el bloque (para darle un ángulo), como en el cigüeñal para ir llevándolo hasta su posición.

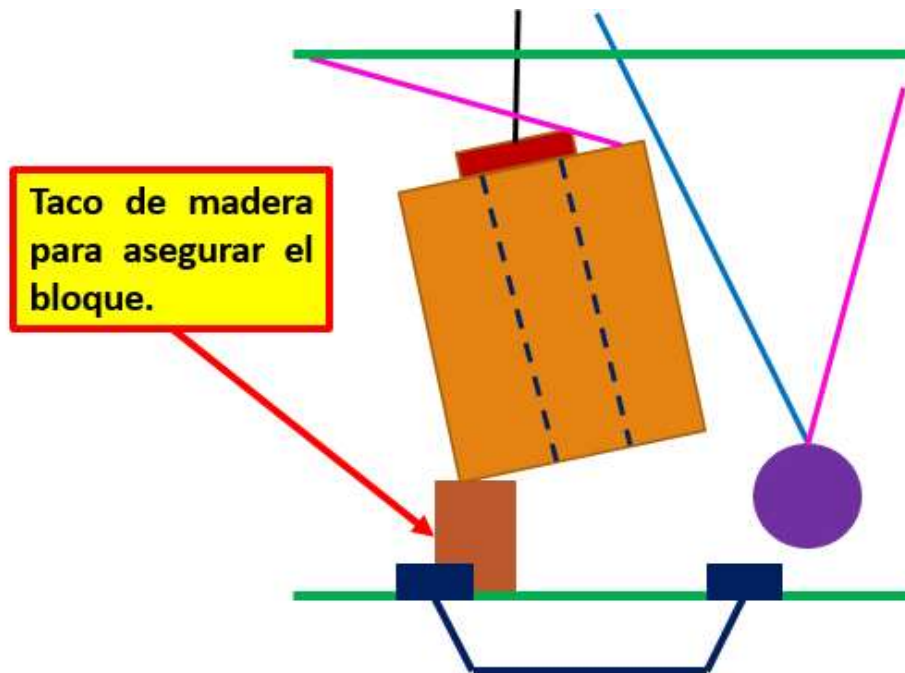






Ilustración 72. Maniobra de introducción del cigüeñal en el bloque. Fuente: Trabajo de campo.

8. Se lleva al cigüeñal a su posición en el bloque del motor y se aprietan las tuercas de presión de los asientos de bancada, la maniobra a realizar para ubicar el cigüeñal es la misma que la empleada al extraer el averiado.

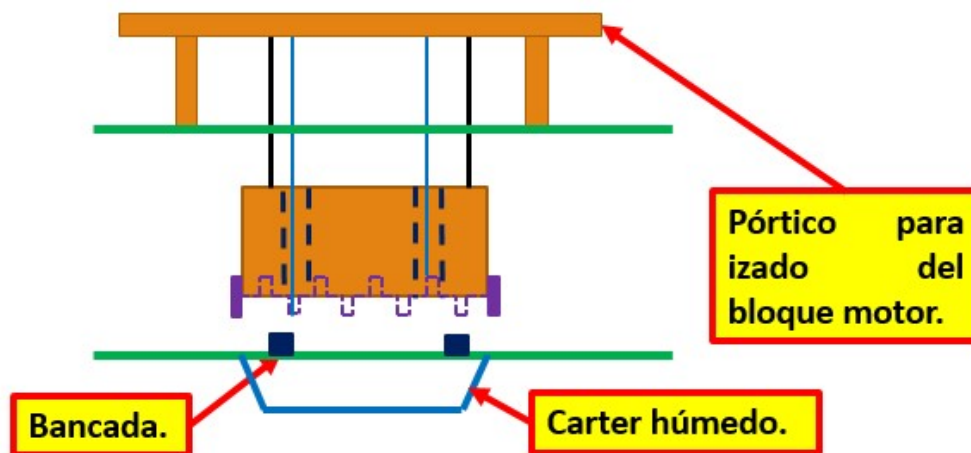


Ilustración 73. Maniobra de introducción del cigüeñal en el bloque 2. Fuente: Trabajo de campo.

9. Al apretar las tuercas a su correspondiente presión se fija el cigüeñal.

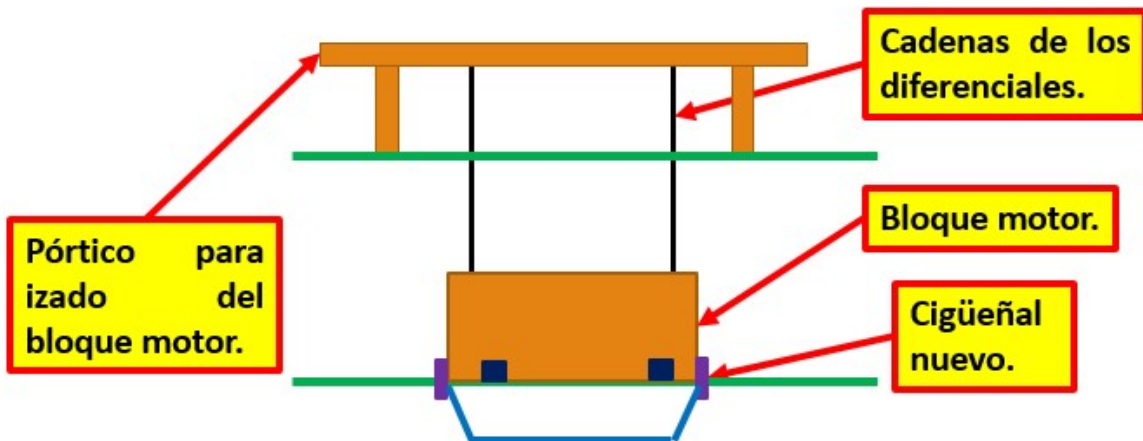


Ilustración 74. Apriete de las tuercas de presión de los asientos de bancada. Fuente: Trabajo de campo.

## **5.5 Montaje del motor**

Antes del montaje del motor se examinaron minuciosamente todos y cada uno de los elementos por si la avería hubiese dañado alguno de estos. Por otro lado, una vez inspeccionados se realizó el taqueado de los motores. Estos procesos se exponen a continuación.



*Ilustración 75. Elementos reparados y acondicionados en la cubierta principal. Fuente: Trabajo de campo.*

### 5.5.1 Sustitución de elementos dañados

Al producirse este tipo de avería además de enviarse al taller diversos elementos para su acondicionado, se sustituyeron otros por nuevos. Estos fueron:

- **Tapillas:** Se cambian todas las tapillas de las cabezas de biela, debido a que se monta un cigüeñal nuevo y que las que estaban colocadas se encontraban deterioradas por las irregularidades en su linealidad.
- **Tren alternativo:** Biela, bulón y pistón N.º 3, debido al mal estado después de haberse pegado las tapillas a la cabeza de biela.
- **Damper antivibración:** sustituido, debido a problemas en el alineado.
- **Enfriadores:** se limpian en el taller y se inspeccionan por si quedaran restos de viruta de la avería.

### 5.5.2 Montaje de los tacos de bancada

Al izar el bloque se perdieron los tacos de resina de la bancada. Por lo que se deben fabricar de nuevo, empleando para ello una resina epoxi con catalizador. Se elige este sistema debido a las facilidades que proporciona en el ajuste del asiento del motor con el polín y las propiedades antivibración y de resistencia a la temperatura con las que cuenta en comparación a los otros tipos de taqueado (tacos de goma y metálicos).

La resina epoxi empleada en este caso ha sido una denominada “Chockfast” del fabricante Epirez. Este sistema elimina el mecanizado de la superficie de los polines a la superficie del asiento del bloque.

Para montar los tacos es necesario llevar una serie de cálculos, dados por el fabricante de la resina. Estos cálculos tienen en cuenta factores como el peso del motor y el número de asientos. A continuación, se realizará un cálculo por elaboración propia puramente didáctico, para realizar el taqueado de motores. En nuestro caso los fabricantes de “Chockfast” determinan que el espesor de los tacos debe comprender entre 12 y 70 mm.

- Datos:

*Peso del bloque:*

*14.000 kg*

- *Tensión en cada asiento:*  $\frac{14.000 \cdot 2.5}{6}$

*N.º de asientos: 6*

- *Tensión en cada asiento:* 5833.33 kg/f

*Tensión mínima permitida en los asientos (dato fabricante): 3775 kg/f*

*Nuestra tensión en cada asiento es de 5833.33 kg/f por lo que las condiciones para el montaje de los tacos se cumplen.*

*Calculamos el área mínima de los tacos:*

- *Área mínima de cada taco:*  $\frac{14.000 \text{ kg}}{7 \text{ kgf/cm}^2}$       ***Área mínima de cada taco: 2.000cm<sup>2</sup> t***

*Calculamos el área de los tacos:*

- *6 tacos y cada taco de:*  $\frac{2.000 \text{ cm}^2}{6}$       ***Cada taco de un área de: 333.33 cm<sup>2</sup>***

*Se sabe que el área para los pernos de anclaje es de 3.2 cm<sup>2</sup> (mediciones a bordo)*

*Si suponemos que el espesor del taco será 60 mm, se podrá calcular la longitud del taco*

- *Longitud del taco:*  $\frac{333,33+3,2}{6}$       ***Longitud del taco: 56,01cm***

*Cada taco será de una medida aproximada de 340 x 120 x 60 (cálculo de elaboración propia).*

*“Este estudio se ha realizado con un fin orientativo, los resultados en el resultado original podrían variar.”*



*Ilustración 76. Tacos de bancada. Fuente: Trabajo de campo.*

El taqueado consta de 3 procesos:

1. Pre - Taqueado: se alinea el motor a través de los pernos de regulación con los que cuentan los soportes del motor.
2. Taqueado: se mezcla la resina” Chockfast” con su catalizador, se realiza el encofrado, se vierte en el molde del taco y se deja solidificar.
3. Post - Taqueado: una vez solida la resina, se aflojan los pernos de nivelación y se aprietan los pernos de anclaje.

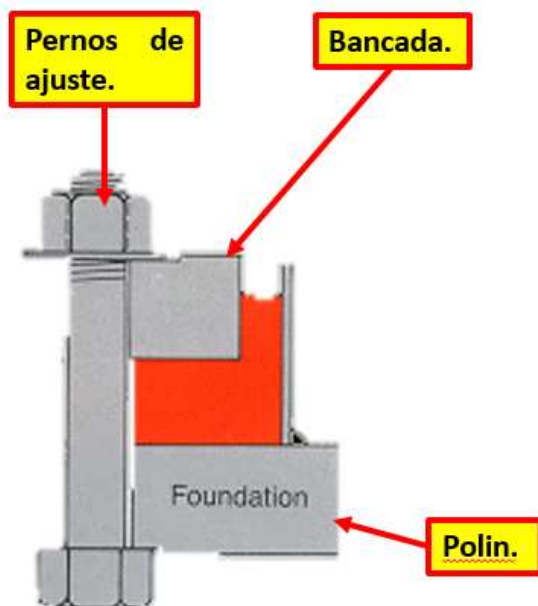


Ilustración 77. Esquema de taqueado. Fuente: [15].

### 5.5.3 Toma de flexiones y alineado

Una vez instalados todos los sistemas del motor se deja listo para su alineamiento con el eje, y realizar las pruebas de mar.

Se realiza una última toma de flexiones del cigüeñal, antes del alineamiento para así verificar que no existe ninguna irregularidad en las flexiones. Las medidas dadas se compararán con las del fabricante:

Description	Cold engine <sup>1)</sup>	Hot engine <sup>2)</sup>	
	Acceptable [mm]	Acceptable [mm]	Realignment recommended [mm]
Max difference between two opposite readings <sup>3)</sup> on the same crank <sup>4)</sup> .	0,050	0,050	0,080
Max difference between the same readings on two adjacent cranks <sup>4)</sup> .	0,035	0,035	0,055
Max difference between two opposite readings <sup>3)</sup> on the end cranks if coupled to the installation (vertical direction).	0,12	0,12	0,16
Max difference between the same readings <sup>3)</sup> on the end crank and it's adjacent crank when coupled to the installation (vertical direction).	0,085	0,085	0,110

Ilustración 78. Flexiones nominales del motor Wärtsilä 8L26. Fuente: [8].

Estas medidas se deben realizar con el motor en caliente, ya que dicha medida podría variar por la temperatura.

En cuanto al alineamiento del cigüeñal con el eje de la reductora correctamente, se mide el paralelismo y concentricidad del elemento instalado con respecto al eje de la máquina, nos debemos fijar principalmente en:

- **Holgura angular:** la cual nos data del perfecto acople de toda la máquina.
- **Holgura radial:** que nos informa de que los ejes tengan un paralelismo perfecto.
- **Holgura axial:** controla la distancia entre los elementos a unir, es decir, que los elementos no estén excesivamente separados o acoplados.



Para llevar a cabo este tipo de mediciones se emplea un aparato de alineación láser, que compara los datos antes mencionados y la posición de los dos elementos a alinear.



*Ilustración 79. Sistema de alineación láser, empleado para alinear el motor. Fuente: Trabajo de campo.*

Esta alineación se hizo en frío, y posteriormente se volvió a realizar cuando se alcanzó la temperatura nominal de trabajo, ya que, debido a la fatiga producida por la temperatura, los materiales se pudieron dilatar y variar el valor de las holguras.

## 5.6 Pruebas de mar

Las pruebas que se realizan a un motor después de haber llevado a cabo una reparación de esta magnitud, son las siguientes. Según las recomendaciones hechas por *un fabricante estándar de un motor rápido antes y durante las pruebas de mar [17]*:

1. Con el motor parado, acoplar virador y virar el motor.
2. Destapar las *tapas del cárter*.
3. Cambiar las tapillas de las muñequillas y cojinetes de bancada.
4. Se tapa el cárter, y se desacopla el *virador*, una vez desacoplado se arranca el motor a muy bajas rpm.
5. En 5 minutos se para el motor.
6. Se acopla el virador, se abren las tapas del cárter.
7. Con el virador actuando se observa si las tapillas están sueltas y con la ayuda de una *pistola térmica* se analiza la temperatura de las tapillas y cojinete de bancada.
8. Se cierran las tapas del cárter y se desacopla el virador.
9. Se arranca el motor a *muy bajas rpm*. Se para a los 10 min. Y se repiten los ítems 6, 7 y 8.
10. Se repite el procedimiento de arranque de motor a muy bajas rpm durante 15 min. Y se repiten los ítems 6, 7 y 8.
11. Se arranca el motor en *rpm nominales* durante 5 min. Y se para, se repiten ítem 6, 7 y 8.
12. Se arranca el motor en rpm nominales durante 15 min. Y se para, se espera un tiempo prudencial para el tiempo del mismo, y se repiten ítems 6, 7 y 8.
13. Se finaliza el proceso de comprobación.

## **VI. CONCLUSIONES**



## **VI. CONCLUSIONES.**

En este capítulo finalizaremos el contenido de este TFG haciendo constancia a las conclusiones que hemos obtenido con la realización del mismo.

- Hemos determinado el funcionamiento de un elemento como es el tren alternativo para poder identificar una avería en el mismo, así como poder tomar la opción del rectificador de la misma y su consecuente reparación (aunque no sea objeto de este TFG) o su cambio por un mecanismo nuevo. La primera opción como es el rectificador del elemento pudiendo rescatar el tren alternativo.
- La importancia de contar con las herramientas y maquinaria apropiada para realizar trabajos de reparaciones a bordo de un buque, y si no fuera así la importancia de un buen mantenimiento para así prever una avería importante en el buque.
- Se han identificado las etapas que se deben llevar a cabo para realizar el mantenimiento a cero horas o Overhaul de un motor marino. Así como las distintas averías que se pueden dar a bordo de un buque.
- Se ha podido aprender y estudiar en los meses de prácticas en FEROTHER S.L. las distintas etapas que se deben llevar a cabo en la varada de un buque y los riesgos que supone para una empresa no llevar un mantenimiento correcto del buque.
- Se ha entendido la importancia de trabajo en grupo en este tipo de trabajos.



## **VII. BIBLIOGRAFÍA**





## VII. BIBLIOGRAFIA

[1] La información de la vida de Antonio Armas Curbelo y imágenes de sus primeros buques. <http://vidamaritima.com/2009/11/antonio-armas-curbelo-y-el-astelena/>

[2] Imágenes e historia de la naviera Armas. <https://www.navieraarmas.com/es/historia>

[3] Historia y datos del buque Volcán de Tindaya.

- [https://www.marinetraffic.com/es/ais/details/ships/shipid:164947/mmsi:224127000/imo:9268411/vessel:VOLCAN\\_DE\\_TINDAYA](https://www.marinetraffic.com/es/ais/details/ships/shipid:164947/mmsi:224127000/imo:9268411/vessel:VOLCAN_DE_TINDAYA)
- [https://www.navieraarmas.com/es/flota\\_volcan\\_de\\_tindaya/13](https://www.navieraarmas.com/es/flota_volcan_de_tindaya/13)

[4] Planos e información de los astilleros Hijos de J. Barreras.

<http://www.hjbarreras.es/?page=lis-ferries&idp=22>

[5] Información de la Sociedad de Clasificación Bureau Veritas.

<http://www.veristar.com/portal/veristarinfo/equasis?IMO=9268411>

[6] Guía del motor de Wärtsila.

<https://www.wartsila.com/products/marine-oil-gas/engines-generating-sets/diesel-engines/wartsila-26>

[7] Guía tecnológica del motor de Wärtsila.

<https://www.wartsila.com/products/marine-oil-gas/engines-generating-sets/diesel-engines/wartsila-26>

[8] Manual del motor Wärtsila 8L26.

[9] Información de avería y tipos.

<http://www.ceroaverias.com/articulos/tools/queesaveria.pdf>

[10] Información sobre las reparaciones extraída de: Trabajo fin de carrera Licenciatura en máquinas navales; desmontaje de waterjet en condición de buque a flote. Embarcación rápida.

[11] Tipos de mantenimiento.

<http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento>

[12] Logos extraídos de las páginas webs de las empresas y sociedad de clasificación:

- <http://www.bureauveritas.com/>
- <https://www.wartsila.com/>
- <http://www.feroher.com/index.php/es/>
- <https://www.navieraarmas.com/inicio>

[13] Información sobre flexiones de cigüeñal extraída de:

- Entrevista con el profesor Servando Luis León
- <https://es.scribd.com/doc/106965819/flexion-del-ciguenal>

[14] Ubicación del puerto.

<https://www.google.es/maps/place/Muelle+Primo+de+Rivera,+35008+Las+Palmas+de+Gran+Canaria,+Las+Palmas/@28.1444985,-15.4212778,16z/data=!4m5!3m4!1s0xc409544b195159f:0x62cb196fa3a828dd!8m2!3d28.1467048!4d-15.4190437>

[15] Información sobre taqueado de motores.

- <http://www.micltd.eu/chockfast/>
- <https://es.scribd.com/doc/26150707/El-Taqueado-de-Los-Motores>

[16] Para la elaboración de este Trabajo de Fin de Grado me han sido de gran ayuda diversos trabajos de compañeros como:

- EXPLICACION-ETAPAS PARA LA REMOTORIZACION DE UN MCI EN UNA PLANTA DE PROPULSION GENERICA. Por Samuel Bonilla Reyes.
- MANTENIMIENTO DE MOTOR WARTSILA 32 DEL BUQUE B. OCEAN EN LAS INSTALACIONES DE ASTICAN. Por Francisco Javier Barreto Contreras.
- ELEMENTOS DE CARGA Y DESCARGA M/V VOLCAN DE TINDAYA. Por Juan Francisco Hernández Franquiz.

[17] Diversas entrevistas con el profesor Servando Luis Leon me han servido a aclarar diversas dudas. Como por ejemplo las pruebas de mar que se han de realizar después de este tipo de reparaciones.

[18] Diversas entrevistas con el profesor Federico Padrón Martín, me han ayudado a aclarar los distintos procesos que se llevaron a cabo en el trabajo.

[19] Trabajo de embarque de Sonia Andreu Palau. Información sobre toma de flexiones.

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/18481/MONTBRI%C3%93.Trabajo%20de%20embarque.%20Sonia%20Andreu%20Palau.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[20] información sobre alineación de motores marinos.

- Manual de micrómetro digital de la empresa FEROTHER.
- <http://www.automotriz.biz/coches/cars-trucks-autos/boats/104558.html>