

“ESTUDIO, DIAGNOSTICO Y PROTOCOLO DE REPARACIÓN DE UNA REDUCTORA REINTJES.
BUQUE BONANZA EXPRESS”



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA, MAQUINAS Y RADIOELECTRÓNICA NAVAL DE LA
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

TRABAJO FIN DE GRADO

**ESTUDIO, DIAGNOSTICO Y PROTOCOLO DE REPARACIÓN DE UNA
REDUCTORA REINTJES. BUQUE BONANZA EXPRESS**

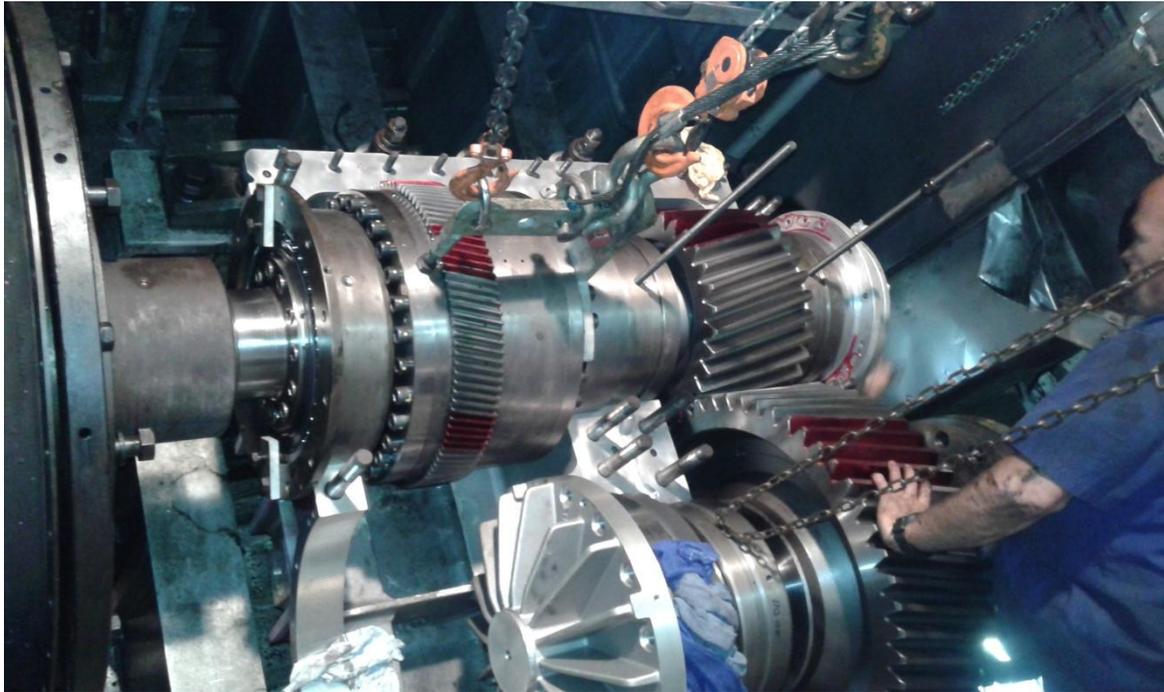
DAVINIA GONZÁLEZ RAMOS

MARZO 2017

DAVINIA GONZÁLEZ RAMOS

“ESTUDIO, DIAGNOSTICO Y PROTOCOLO DE REPARACIÓN DE UNA REDUCTORA REINTJES.
BUQUE BONANZA EXPRESS”

ESTUDIO, DIAGNOSTICO Y PROTOCOLO DE REPARACIÓN DE UNA REDUCTORA REINTJES. BUQUE BONANZA EXPRESS



Directores:

Federico Padrón Martín

Servando Luis León

Nombre: Davinia González Ramos

Grado: Tecnologías Marinas

Marzo 2017

“ESTUDIO, DIAGNOSTICO Y PROTOCOLO DE REPARACIÓN DE UNA REDUCTORA REINTJES.
BUQUE BONANZA EXPRESS”

“ESTUDIO, DIAGNOSTICO Y PROTOCOLO DE REPARACIÓN DE UNA REDUCTORA REINTJES.
BUQUE BONANZA EXPRESS”

Dr. Don Federico Padrón Martín, Profesor Ayudante Doctor asociado del área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación, perteneciente a la unidad departamental de Ingeniería Marítima de la Universidad de La Laguna certifica que:

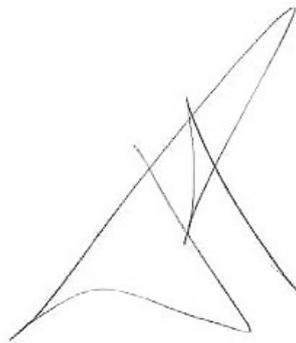
Dña. Davinia González Ramos, ha realizado el trabajo fin de grado bajo mi dirección con el título:

*“ESTUDIO, DIAGNOSTICO Y PROTOCOLO DE REPARACIÓN DE UNA REDUCTORA REINTJES.
BUQUE BONANZA EXPRESS”*

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

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

En Santa Cruz de Tenerife a 17 de Marzo de 2017.



Fdo. Federico Padrón Martín

Director del trabajo de fin de grado

“ESTUDIO, DIAGNOSTICO Y PROTOCOLO DE REPARACIÓN DE UNA REDUCTORA REINTJES.
BUQUE BONANZA EXPRESS”

“ESTUDIO, DIAGNOSTICO Y PROTOCOLO DE REPARACIÓN DE UNA REDUCTORA REINTJES.
BUQUE BONANZA EXPRESS”

Dr. Don Servando Luis León, Profesor Ayudante Doctor asociado del área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación, perteneciente a la unidad departamental de Ingeniería Marítima de la Universidad de La Laguna certifica que:

Dña. Davinia González Ramos, ha realizado el trabajo fin de grado bajo mi dirección con el título:

*“ESTUDIO, DIAGNOSTICO Y PROTOCOLO DE REPARACIÓN DE UNA REDUCTORA REINTJES.
BUQUE BONANZA EXPRESS.”*

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

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

En Santa Cruz de Tenerife, a fecha 17 de Marzo de 2017



Fdo. Servando Luis León

Director del trabajo de fin de grado

“ESTUDIO, DIAGNOSTICO Y PROTOCOLO DE REPARACIÓN DE UNA REDUCTORA REINTJES.
BUQUE BONANZA EXPRESS”

Agradecimientos:

A la tripulación del BONANZA EXPRESS, en especial a los jefes de maquinas, los oficiales, los jefes de mantenimiento nocturno y los engrasadores, los cuales me enseñaron, ayudaron y orientaron a lo largo de los meses de prácticas que estuve a bordo del buque.

Al técnico de REINTJES, Juan José Marina Marcos por invitarme al taller FEROTHER y permitirme estar presente en el desmontaje de los ejes de la reductora ya que he basado mi trabajo de fin de grado en esa experiencia.

Al Dr. Don Federico Padrón Martín y al Dr. Don Servando Luis León por la gran ayuda que me han ofrecido en el desarrollo de éste trabajo.

Por último, quiero agradecer a mi familia y mis amigos, pero en especial a mi madre por su apoyo incondicional a lo largo de todos estos años y por su confianza en mí.

A todos ellos gracias.

“ESTUDIO, DIAGNOSTICO Y PROTOCOLO DE REPARACIÓN DE UNA REDUCTORA REINTJES.
BUQUE BONANZA EXPRESS”

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	5
III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES	9
3.1 BONANZA EXPRESS.....	11
3.2 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL BUQUE.....	12
3.3 EL GARAJE.....	14
3.3.1 ANTE SALA (ANTE ROOM).....	15
3.3.2 SALA DE MÁQUINAS.....	16
3.4.3 SALA DE JETS (JET ROOM).....	17
3.4 EQUIPO PROPULSOR.....	19
3.4.1 MOTOR PRINCIPAL.....	20
3.4.2 VULKAN.....	22
3.4.3 REDUCTORA.....	23
3.4.4 LÍNEA DE EJES (EJE INTERMEDIO – EJE PROPULSOR).....	27
3.4.5 WATERJETS.....	31
3.5 ¿QUÉ ES UNA REDUCTORA?.....	33
IV. METODOLOGÍA	35
4.1 DOCUMENTACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	37
4.2 METODOLOGÍA DEL TRABAJO DE CAMPO.....	37
4.3 MARCO REFERENCIAL.....	37
V. RESULTADOS	39
5.1 ESQUEMA. UBICACIÓN DE LA REDUCTORA A BORDO.....	41
5.2 CIRCUITO Y DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA REDUCTORA REINTJES.....	42
5.2.1 BOMBA DE ACEITE ACOPLADA.....	45
5.2.2 FILTRO DE ACEITE.....	46
5.2.3 INTERCAMBIADOR DE CALOR (ENFRIADOR).....	48
5.2.4 VÁLVULA DE CONTROL Y VÁLVULA LIMITADORA DE PRESIÓN.....	49
5.2.5 PUNTOS DE CONTROL.....	53
5.2.6 EJE ACOPLADO PTO.....	54
5.3 PLAN DE MANTENIMIENTO.....	55
5.4 REVISIÓN DE LA REDUCTORA.....	57
5.4.1 TAPAS DE REGISTRO.....	57
5.4.2 UNIÓN CON LA BANCADA.....	58
5.4.3 CARCASA DE LA REDUCTORA.....	60
5.4.4 VULKAN.....	61
5.4.5 PRESOSTATOS.....	61
5.5 CASO PRÁCTICO: GRIETA EN LA CARCASA SUPERIOR DE LA REDUCTORA DEL MOTOR PRINCIPAL SIME.....	63
5.6 COMPROBACIÓN DE LA GRIETA POR PARTE DEL PERSONAL DEL BUQUE. DESCRIPCIÓN PRÁCTICA.....	67
5.6.1 ENSAYO DE LÍQUIDOS PENETRANTES.....	67
5.6.2 PULIMIENTO DE LA SUPERFICIE.....	70

5.6.3 VERIFICACIÓN DEL ANÁLISIS DE ACEITE.....	71
5.7 VERIFICACIÓN DE LA REDUCTORA POR PARTE DE UN TÉCNICO AUTORIZADO. REVISIÓN EXTERIOR E INTERIOR.....	72
5.7.1 ENSAYO DE LÍQUIDOS PENETRANTES.....	72
5.7.2 PRUEBA DE ULTRASONIDO.....	73
5.8 ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES INTERNOS DE LA REDUCTORA.....	76
5.9 DESMONTAJE DE LA REDUCTORA.....	78
5.9.1 DESMONTAJE DEL EJE DE SALIDA DE LA PTO Y BOMBA ACOPLADA DE ACEITE.....	78
5.9.2 IZADO DE LA TAPA Y DESACOPLE CON EL EJE DEL IMPULSOR.....	80
5.9.3 DESMONTAJE DE LOS EJES DE LA REDUCTORA.....	81
5.9.4 DESMONTAJE DEL EJE SECUNDARIO O EJE DE SALIDA.....	83
5.9.5 DESMONTAJE DEL EJE PRIMARIO O EJE DE ENTRADA.....	91
5.10 MONTAJE DE LOS EJES A BORDO.....	100
5.11 PRUEBAS DE MAR Y VERIFICACIÓN DE LA REDUCTORA.....	103
5.12 CONCLUSIÓN DE LA AVERÍA.....	105
VI. CONCLUSIÓN.....	107
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	111

I. INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo fin de grado nace de mi experiencia durante mis practicas en la compañía *FRED OLSEN EXPRESS*, a bordo de uno de sus buques el *BONANZA EXPRESS*, el cual hace la ruta Morrovable, Fuerteventura - Las Palmas de Gran Canaria, Gran Canaria. Durante mi periodo de prácticas a bordo pude asistir y observar la reparación de una de sus reductoras acopladas a los motores principales. No solo pude ver el trabajo realizado a bordo sino también me dieron la oportunidad de ir al taller *FEROHER* acompañada del técnico de *REINTJES* para estudiar todo el proceso que conlleva la reparación de la reductora. De ahí el interés que he mostrado durante esta ejecución y que me ha llevado a realizar este trabajo fin de grado sobre esta temática.

En el capítulo de **Objetivos** me planteo los objetivos específicos que me han motivado para el desarrollo de este trabajo de fin de grado.

En el capítulo **Revisión y Antecedentes** he desarrollado una descriptiva de la trayectoria de *FRED OLSEN EXPRESS* en las islas y en concreto del buque en el que he realizado mis practicas, el *BONANZA EXPRESS*. Para lo cual he incluido características técnicas del sistema de propulsión del buque. Ya que mi trabajo está basado en la reductora, he visto conveniente realizar una introducción sobre los engranajes.

En el capítulo **Metodología** he incluido tres apartados, documentación bibliográfica, metodología del trabajo de campo y el marco referencial. Sobre éste marco referencial comentar que la operación de estudio, diagnosis y protocolo de la avería de la reductora ha sido a bordo del *BONANZA EXPRESS* mientras que el desmontaje de los ejes ha sido en el taller *FEROHER*.

En el capítulo **Resultados** he realizado una descripción por etapas sobre una avería en una de las reductoras, explicando desde que se encuentra la avería, las pruebas para la verificación de la avería, el desmontaje de los ejes, el montaje y su posterior comprobación. Describiendo cada una de las etapas y añadiendo fotografías propias de éste trabajo para que el lector tenga una visión específica y global del proceso. De tal manera que he intentado plasmar y señalar una metodología donde se visualiza paso a paso el desmontaje de una reductora.

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

En el capítulo **Bibliografía** aporta manuales y referencias web (webgrafía) en relación al contenido de este trabajo de fin de grado.

ABSTRACT

I. INTRODUCTION

This project comes from my experience during my practices in the company *FRED OLSEN EXPRESS*, aboard one of its ships the *BONANZA EXPRESS*, which makes the route Morrojaible, Fuerteventura - Las Palmas de Gran Canaria, Gran Canaria. During my internship period on board I was able to assist and observe the repair of one of its reducers coupled to the main engines. Not only I was able to see the work done on board, never the less they also gave me the opportunity to go to the *FEROHER* workshop accompanied by the *REINTJES* technician for studying the whole process of repairing the gear unit. Hence the interest that I have shown during this execution and that has led me to carry out this final work on this subject.

On the chapter of **Objectives** I present the specific objectives that gave me the motivation me for the development of this project.

On the chapter **Review and Background** I have developed a description of the trajectory of *FRED OLSEN EXPRESS* in the islands and particularly in the ship of my practices, the *BONANZA EXPRESS*. For this ship I have included technical characteristics of the propulsion system. Because my work is based on the gearbox, I have seen fit to make an introduction about the gears.

On the **Methodology** chapter I have included three sections, documentation, bibliography, methodology of the field work and the frame of reference. About this frame of reference, I have to comment that the operation of study, diagnosis and protocol of the breakdown of the gearbox has been aboard the *BONANZA EXPRESS* while the disassembly of the axles has been in the workshop *FEROHER*.

On the **Results** chapter, I have made a full description of a fault in one of the gearboxes, explaining from the moment of the fault, the tests for the verification of the fault, the disassembly of the axes, the assembly and its subsequent verification. It has been described each one of the stages and and added own photographs of this work so that the reader has a specific and global vision of the process. In this a way that I have tried to capture and point out a methodology where step by step the disassembly of a gearbox is visualized.

On the sixth chapter, the **Conclusions**, I have captured the conclusions that have been obtained from both professional and academic experience in the development of this end-of-degree paper.

On the chapter **Bibliography** contributes manuals and web references (Webgraphic) in relation to the content of this work of end of degree.

II. OBJETIVOS

II. OBJETIVOS

Los objetivos que se pretende alcanzar en este trabajo de fin de grado son los siguientes:

1.- Observar las características funcionales y los distintos elementos específicos del equipo propulsor de un buque de alta velocidad.



2.- Conocer que es una reductora, su funcionamiento y su función en el sistema del equipo propulsor del buque.



3.- Explicar el mantenimiento que lleva una reductora y su importancia para prever una posible avería



4.- Estudio y reparación de una avería puntual de una de las reductoras a bordo. Verificación de la misma a través de las pruebas de mar.

III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES

III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES

3.1 BONANZA EXPRESS

El buque *BONANZA EXPRESS* es un Catamarán de alta velocidad, del tipo *wave piercing*, para el transporte de pasajeros y cargas rodada. Esta fabricado en aluminio y utiliza propulsión por chorro de agua, mediante 4 *waterjets* situados en la popa, que le permiten alcanzar velocidades de hasta 38 nudos en servicio, con plena carga, y una velocidad máxima de 42 nudos en condiciones óptimas de navegación y sin carga.

Fue construido en 1998 por el astillero Incat Tasmania Pty Ltd. En Hobart, Tasmania, Australia. El buque 051 de Incat es el segundo de una serie de seis barcos de 96 metros de eslora del citado fabricante. Este buque tiene una capacidad de 717 pasajeros y 235 coches o alternativamente, 105 coches más unos 25 camiones con carga.

Entro en servicio en 1999 con la compañía *FRED OLSEN EXPRESS* y ha navegado en varias de sus líneas: Tenerife – Gran Canaria, La Gomera – Tenerife, El Hierro – Tenerife y Gran Canaria – Fuerteventura, en la que se encuentra desde agosto de 2012, realizando la línea Las Palmas de Gran Canaria - Morro Jable (Gran Canaria - Fuerteventura). Es de destacar que en el caso de El Hierro fue el primer *fast ferry* que llegó a la isla.

Este es el único buque de los cinco que forman la flota *FRED OLSEN EXPRESS*, que no pertenece a la compañía. Este buque es propiedad de la empresa *MARÍTIMA DE FAST FERRIES, S. A.*, lo explota la empresa *FRED OLSEN EXPRESS, S. A.*, y está clasificado por *DET NORSKE VERITAS*.

Su puesta en marcha de la mano de *LÍNEAS FRED OLSEN* en su momento, significó un paso adelante en el transporte marítimo canario, introduciendo por primera vez el concepto de *fast ferry* en nuestro Archipiélago.[1]



Ilustración nº1. BONANZA EXPRESS, Muelle de la Luz, Las Palmas de Gran Canaria

Fuente [2]

3.2 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL BUQUE

Nombre del buque	BONANZA EXPRESS
Tipo	Catamarán <i>wave piercing</i> de gran velocidad
Constructor	InCat. Tasmania Pty Ltd.
Nº construcción	051
País de construcción	Australia
Año de construcción	1998
Propietario	Marítima de Fast Ferries, S.A.
Explotador	Fred Olsen Express, S.A.
Matricula	TE-1-10-99
Puerto de registro	Santa Cruz de Tenerife
Número OMI	9200225
Material del casco	Aluminio
Número máximo de pasajeros	717
Número total de tripulantes	16
Carga rodada coches	230 coches
Carga rodada mixta	80 coches + 330m lineales camiones
Eslora total	95,47m
Manga total	26,160m
Calado máximo	4,030m
Puntal	7,693m
Arqueo bruto (GT)	5528
Arqueo neto (NT)	2017
Propulsión	4 waterjets con motores diésel
Potencia máxima	4x7090kW a 1030rpm
Velocidad máxima	42nudos
Estabilizadores	Dos a proa y dos a popa “Maritime Dynamics”

Fuente [3]

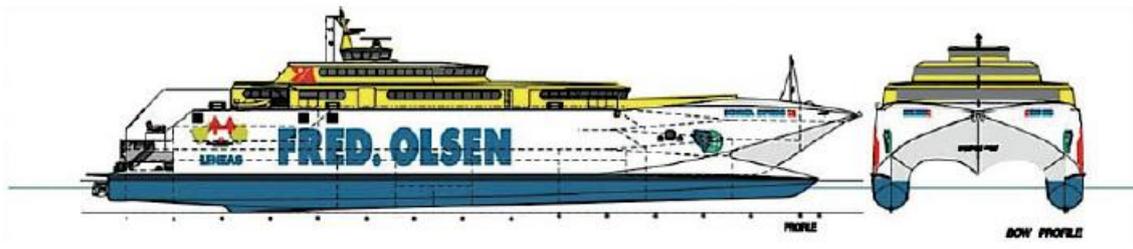


Ilustración nº2. Bonanza Express

Fuente [3]

“ESTUDIO, DIAGNOSTICO Y PROTOCOLO DE REPARACIÓN DE UNA REDUCTORA REINTJES.
BUQUE BONANZA EXPRESS”

Como anteriormente he comentado es un catamarán, tipo *wave piercing*, construido en aluminio. En el extremo de la proa, en crujía, dispone de un casco central que habitualmente está fuera del agua, cuya misión es aportar desplazamiento adicional en condiciones extremas de cabeceo, evitando así los pantocazos. Este tipo de buque tiene restricciones a la navegación por oleaje y viento, estas restricciones son:

1. El buque no podrá navegar con pasajeros cuando la previsión de altura de olas significativa sea superior a 4,00 m.
2. El buque deberá regresar a puerto, navegando con pasajeros a bordo, cuando la altura de olas significativa sea superior a 5,00 m.
3. El buque no podrá navegar cuando la velocidad del viento sea superior a 46 nudos.
4. Se limita la velocidad máxima del buque en función de la acción combinada del oleaje y de la velocidad del viento.

Estas restricciones limitan la velocidad a la que puede ir el buque navegando en función de la acción del oleaje. Dependiendo de la altura del oleaje se marca una velocidad máxima, en el siguiente cuadro se muestra esta relación. [3]

Altura significativa del oleaje (hs)	Velocidad máxima
hs<2,90m	40 nudos
2,90m<hs<3,80m	35 nudos
3,80m<hs<4,30m	32 nudos
4,30m<hs<5,00m	30 nudos
hs>5,00m	Cambiar rumbo o ir a refugio

Fuente [3]

Otro dato importante para su descripción es la capacidad del buque que se muestra a continuación en la siguiente tabla

Capacidad máxima de combustible	174878L
Tanque combustible largo recorrido	2x196000L
Capacidad combustible MMAA emergencia	2x856L
Tanque agua dulce	5000L
Tanque agua sucias	5000L
Agua dulce refrigeración MMPP	4x1500L
Agua dulce refrigeración MMAA	4x50L
Aguas oleosas	2x200L
Tanques hidráulicos de popa	2x400L
Tanques hidráulicos reserva popa	2x50L
Tanques hidráulicos proa	2x100L
Tanque de aceite de lubricación MMPP	2x470L

Fuente [3]

3.3 EL GARAJE

Se trata de una cubierta corrida sin mamparos estancos, en la que se encuentra el acceso principal al buque, en ella se dispone de columnas de acero tipo puerta para aumentar la resistencia estructural en caso de incendio de larga duración. Esta cubierta es utilizada para el transporte de vehículos, camiones, planchas y motos. Este barco transporta muchos camiones frigoríficos por lo que el barco en el garaje tiene diferente toma de corriente donde se conectan estos camiones durante el viaje.

A popa de cada banda, se encuentran las tomas para consumo de combustible, las tomas de agua dulce y las descargas de aguas oleosas.

En proa, se encuentra el pique de proa por el que se accede a un espacio donde se encuentra la unidad hidráulica de proa, destinada a los cabrestantes de las maniobras de babor y estribor, los estabilizadores de proa (T- Foils) y el molinete del ancla.

También en este nivel se encuentran los tambuchos para bajar a los diferentes VOID'S que están en ambas bandas y las dos bandas son simétricas. [3]

-VOID 1: Se encuentran los estabilizadores de proa, T-Foils.

-VOID 2: Se encuentran las bombas del sistema sprinklers y de los rociadores.

-VOID 3: Se encuentran los tanques de largo recorrido.

-VOID 4: Se encuentran los tanques de combustible de los motores principales. En la banda de babor se encuentran los tanques de los motores POME y PIME mientras que en la banda de estribor se encuentran los tanques de los motores SOME y SIME en este VOID también se encuentran los tanques de combustible de los motores auxiliares de emergencia, en babor se encuentra el del auxiliar nº1 y en estribor se encuentra el del auxiliar nº3. En el VOID 4 de babor está el tanque de agua dulce y en estribor está el tanque de aguas fecales. La última diferencia es que en el VOID 4 de babor están las bombas sanitarias.

-VOID 5: Tanque almacén de aceite

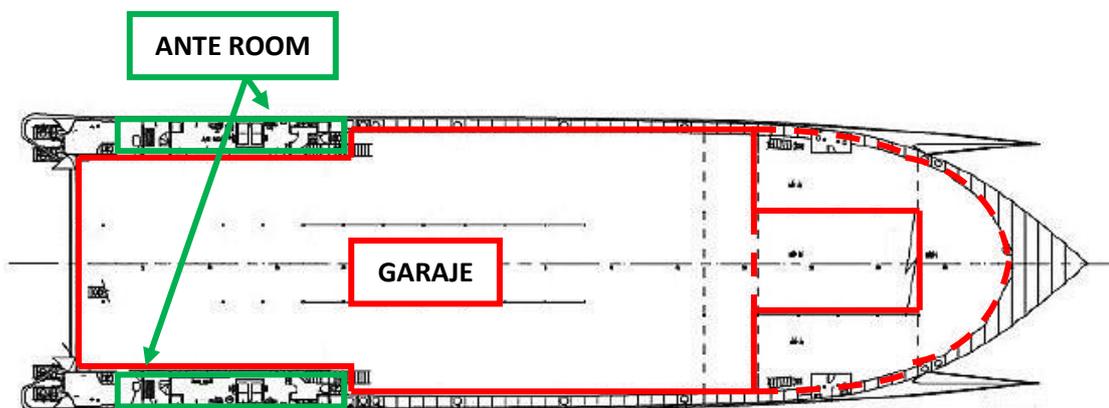


Ilustración nº3. Plano Bonanza Express

Fuente [3]

3.3.1 ANTE SALA (ANTE ROOM)

Hay una antesala o *ante room* a cada banda. Se encuentran a popa, son simétricas y están a un nivel más alto que la sala de máquinas. Por las ante salas se accede a las sala de máquinas. En ellas nos encontramos:

- Las baterías de los reguladores de los motores principales.
- Los tanques de compensación de agua destilada de los motores principales.
- El compresor de aire de arranque de los motores principales y motores auxiliares con su respectiva botella.
- El compresor de emergencia
- Cuadro de los motores auxiliares (acople, alarmas, etc.)
- Cierre de los *dámpers*
- Cuadros (alarmas bombas sumergibles, apertura y cierre de las válvulas de combustible, valor del nivel de los tanques de combustible, diferentes alarmas del *jet room*, conexión y desconexión de las bombas eléctricas 1 y 2 del *jet room*)
- Los cuadros de corriente continua
- Los cuadros de distribución normal y esencial
- Cierre de las rampas de ventilación de las salas de máquinas [3]

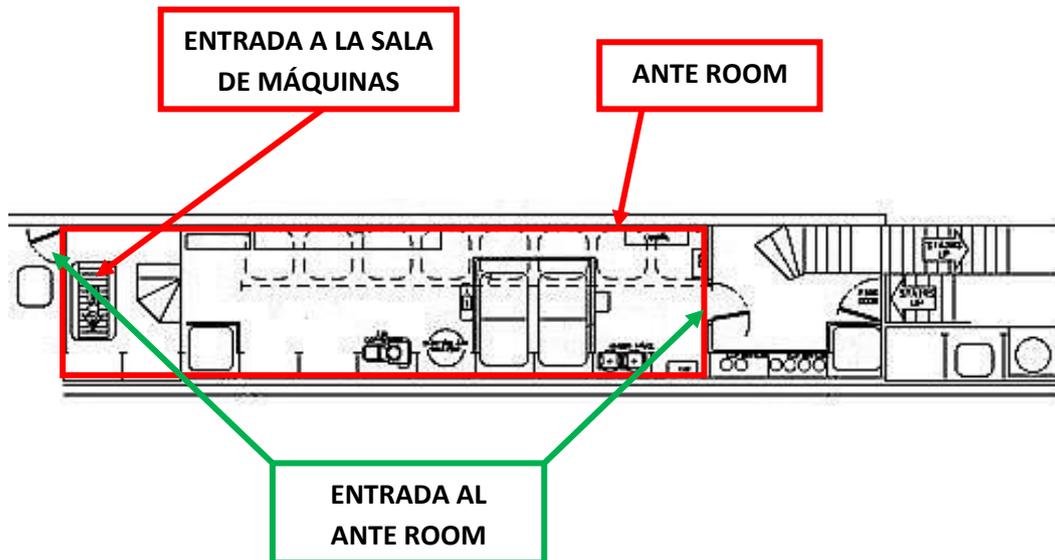


Ilustración nº4. Plano Ante Room / Bonanza Express

Fuente [3]

3.3.2 SALA DE MÁQUINAS

El acceso a este compartimento se realiza por el ante room, hay una sala de máquinas por banda y también son simétricas, nos podemos encontrar los elementos propulsores y generadores del buque.

Tiene dos motores principales a cada banda *RUSTON 20RK270*, cada uno de ellos acoplados a una reductora *REINJETS VLJ6831*.

En cada una de las salas de máquinas se cuentan dos motores auxiliares, uno encima del otro a proa de la sala de máquinas. Marca *CATERPILLAR* modelo 3406-B, 6 cilindros en línea con un desarrollo de 240kW a 1500rpm. Los generadores de los 4 motores auxiliares están conectados directamente a dos cuadros principales divididos en estribor y babor, aunque se puede repartir la carga entre bandas a través del *bus-tie*. Desde los paneles de secuencia se controla el sistema de carga, arrancando o parando en función de la demanda de carga en el sistema, de manera automática. [3]

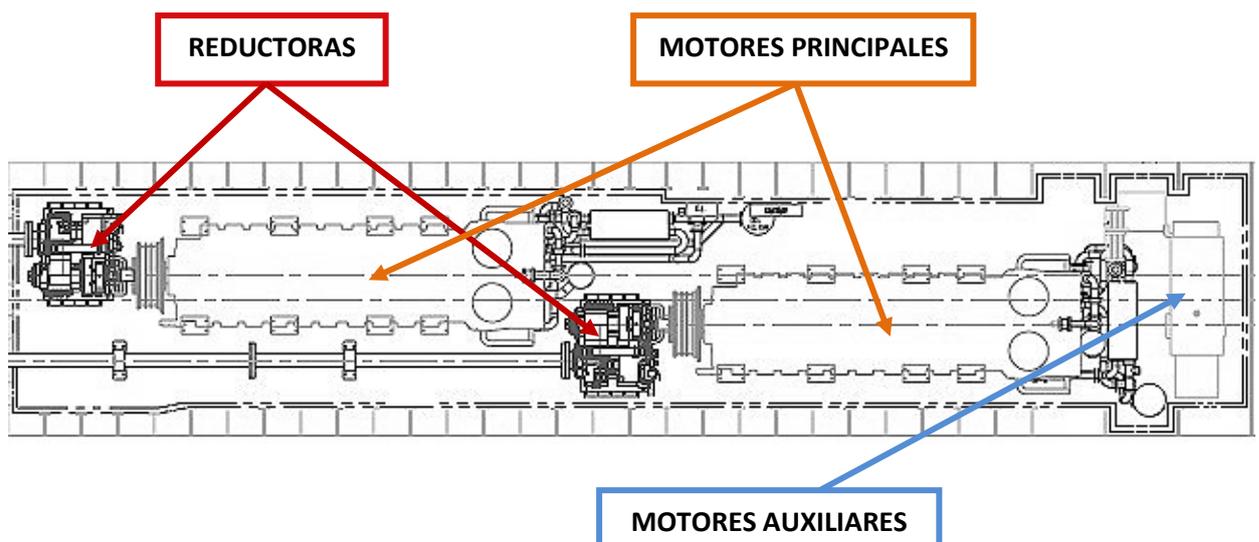


Ilustración nº5. Plano Sala de máquinas /Bonanza Express

Fuente [3]

3.3.3 SALA DE JETS (*JET ROOM*)

El tambucho para bajar a la sala de Jets se encuentra a la salida de la antesala a popa y están al mismo nivel que la sala de máquinas. Hay una sala de jet a cada banda y son simétricos. En la sala de jet podemos encontrar los equipos hidráulicos de popa.

- Dos bombas hidráulicas eléctricas. “1”
- Una bomba hidráulica (PTO) acoplada a la reductora de los motores interiores SIME o PIME, dependiendo de la banda. “3”
- Un tanque de aceite hidráulico “2” y un tanque de reserva.
- Válvula de retención principal, bloque de distribución y filtro de alta presión. “4”
- Enfriador de aceite del circuito hidráulico. “5”
- Acumuladores hidráulicos. “6”
- Pistón hidráulico del *Trim-Tab*.
- Válvulas del *Bucket* y *steering*. “9”
- Válvulas del *Trim-Tab*. “8”
- Ejes de los impulsores con sus respectivos cojinetes.
- Indicadores de posición de los *steerings* y *bucket* (*feedback*). “12”
- Válvula de los cabrestantes. “11”
- Válvula del bote de rescate. “10”

“ESTUDIO, DIAGNOSTICO Y PROTOCOLO DE REPARACIÓN DE UNA REDUCTORA REINTJES.
BUQUE BONANZA EXPRESS”

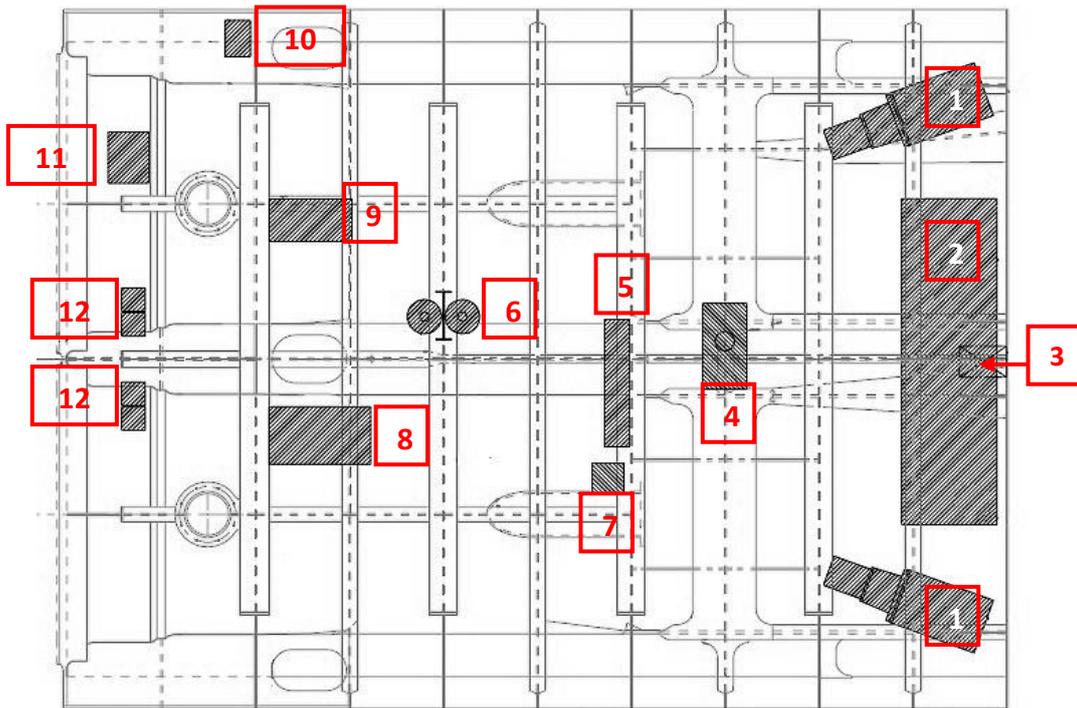


Ilustración nº6. Distribución Jet Room /Bonanza Express

Fuente [3]

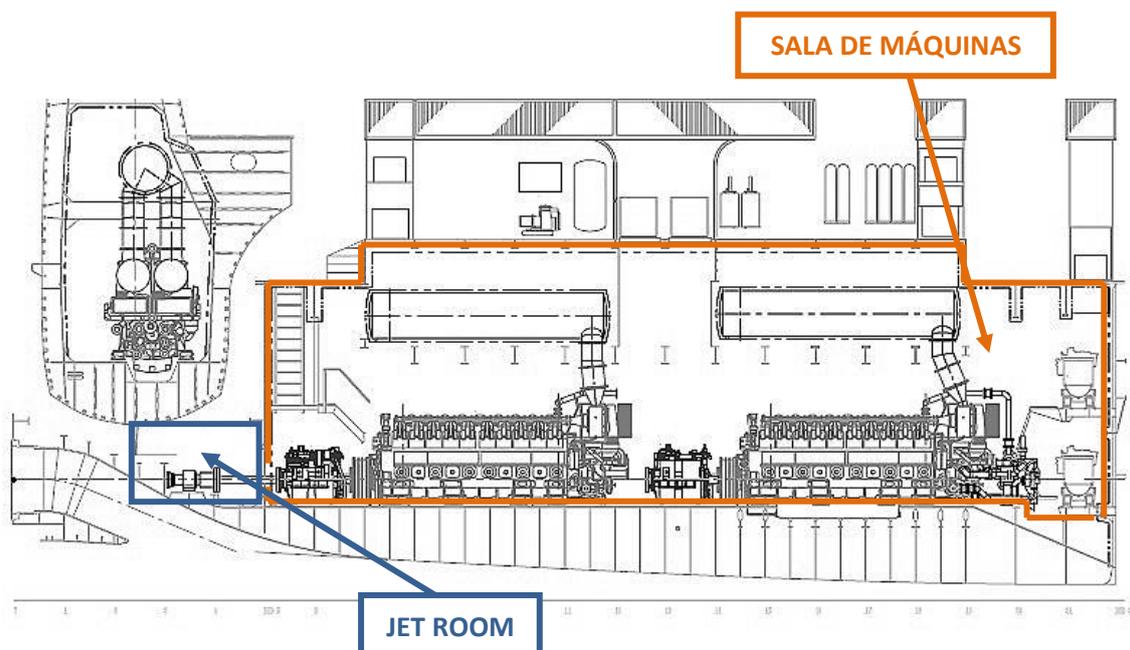


Ilustración nº7. Plano Jet Room y Sala de máquinas /Bonanza Express

Fuente [3]

3.4 EQUIPO PROPULSOR

El equipo propulsor de este buque está formado por cuatro motores principales *RUSTON 20RK270* de cuatro tiempos con 20 cilindros en V a 45°. Cada casco posee una sala de máquinas ambas simétricas. En las cuales, como ya he nombrado hay dos motores a cada banda, acoplados cada uno a una reductora *REINTJES VLJ6831* con un factor de desmultiplicación de 1,781:1.

De cada reductora sale el eje intermedio que va al *jet room*. Ahí se une con el eje del impulsor del *waterjet*. Este buque tiene cuatro *WATERJET LIPS LJ150D*. Dichos *waterjets* proporcionan la propulsión y el gobierno necesarios para la correcta operatividad del buque, ofreciendo 4 x 7080KW de potencia.

El equipo propulsor debe cumplir con varios objetivos, los cuales son vitales para la operación del buque. Los objetivos para lograr una buena operación del buque son:

- Transmitir la potencia del motor principal al propulsor
- Estar libre de formar vibraciones perjudiciales
- Soportar al propulsor
- Transmitir el empuje desarrollado por el propulsor al casco.
- Soportar con seguridad la carga de operaciones transitorias

A continuación se realiza una breve descripción de los mismos.

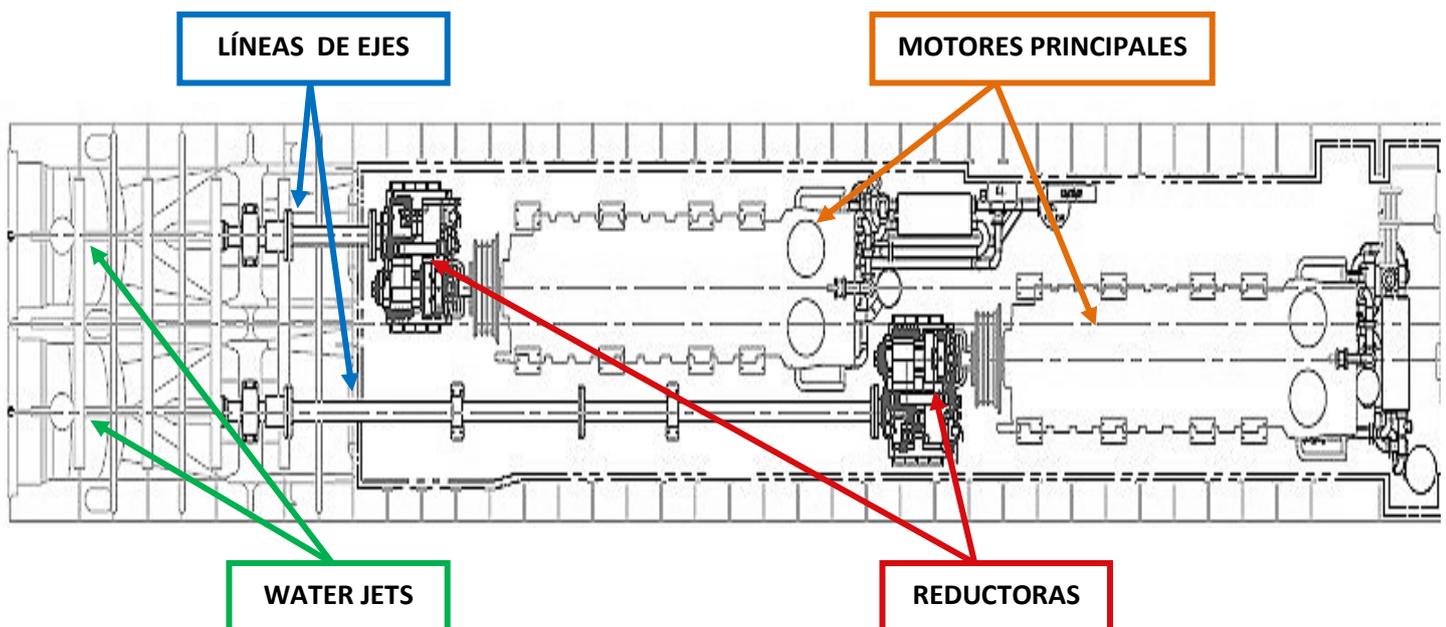


Ilustración nº8. Plano equipo propulsor / Bonanza Express
Fuente [3]

3.4.1 MOTOR PRINCIPAL

Como he dicho anteriormente el buque tiene 4 motores principales *RUSTON 20RK 270* de cuatro tiempos con 20 cilindros en V a 45°. Los motores son turbo alimentados con doble enfriador de barrido, a pleno régimen del motor las turbos giran a 30000 rpm elevando la presión de aire de admisión sobre los 2,5bar.

Para todos los buques de construcción INCAT se ha adoptado el convenio para nombrar los motores principales del buque según banda y posición en el mismo.

PIME *Port Inner Main Engine* – Motor Principal Babor Interior

POME *Port Outer Main Engine* – Motor Principal Babor Exterior

SIME *Starboard Inner Main Engine* – Motor Principal Estribor Interior

SOME *Starboard Outer Main Engine* – Motor Principal Estribor Exterior

ESPECIFICACIONES DE LOS MOTORES PRINCIPALES RUSTON RK270	
Clasificación del motor	20RK270
Modelo del motor	20 cilindros en V a 45°
Ciclos	4-Tiempos
Tipo	Sobrealimentado con enfriador de aire
Diámetro interior cilindro	270mm
Carrera	305mm
Desplazamiento por cilindro	17,5L
Índice de compresión	12,3:1
Sentido de giro (desde volante)	Izquierdas
Orden de encendido	Lado A: 8-5-2-4-1-3-6-9-7-10 Lado B: 1-3-6-9-7-10-8-5-2-4
Presión timbrado inyector	376-386bar +/-10%
Avance inyección	17°
Calaje válvula escape	1mm
Calaje válvula admisión	0,6mm
Cremallera	200,20mm
Sistema arranque	Neumático
Presión máxima	130Kg/cm ²
Máxima contrapresión admisible (escape)	300mm
Máxima restricción admisión de aire	200mm
Presión aire de barrido 100% de carga	2,7kg/cm ²
Potencia	7080kW
Régimen de operación	1030r/min
Régimen a ralentí	320r/min

Fuente [3]

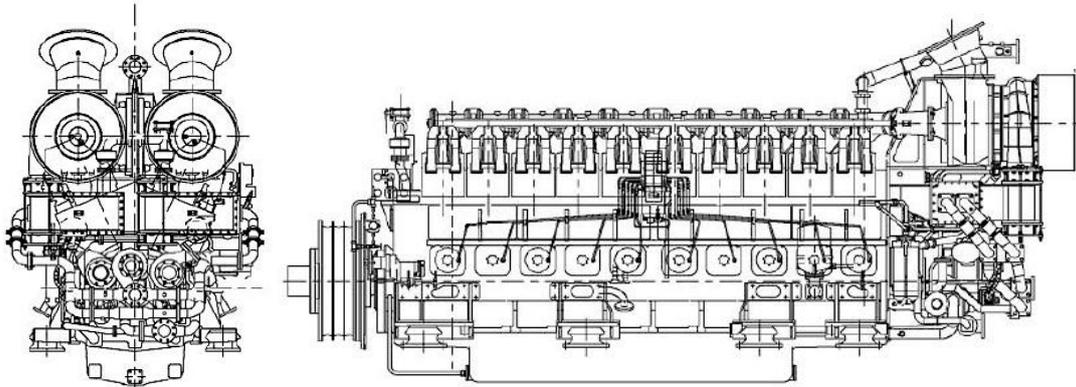


Ilustración nº9. Plano Motor RUSTON RK270 / Bonanza Express

Fuente [3]

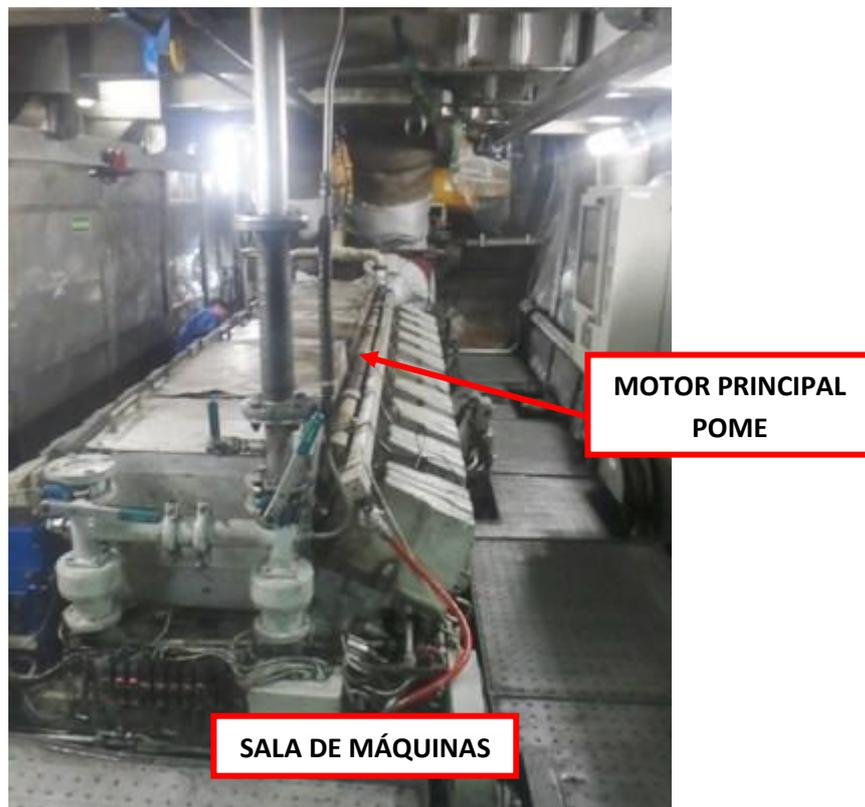


Ilustración nº10. Sala de Máquinas. Motor POME / Bonanza Express

Fuente [4]

3.4.2 VULKAN

A bordo hay cuatro reductora, cada una de ella esta acoplada a un motor a través de su correspondiente eje.

La unión entre el volante del motor y el eje de entrada de la reductora se hace por medio de un acoplamiento flexible “VULKAN”. El acoplamiento VULKAN es un acoplamiento de caucho elástico a la torsión que compensa desalineaciones radiales, desplazamientos de ejes axiales y angulares. Se compone de tres segmentos separados, de esta manera se asegura que el acoplamiento pueda soportar la alta carga térmica y como resultado, tienen una vida de servicio larga. Está constituido de un conjunto de membranas y de piezas de conexión, que absorbe cualquier tipo de vibración por parte del motor hacia la reductora y facilitan su desmontaje. Por lo que funcionan correctamente bajo rotaciones bidireccionales y soportan las cargas de choque axiales y de torsión.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS VULKAN – RATO – 20RK207	
Par nominal de torsión del acoplamiento (TKN)	80,0 KNm
Par de pico del motor1 (TKmax1)	120,0 KNm
Par de pico del motor2 (TKmax2)	360,0 KNm
Par vibratorio admisible (TKW)	24,0 KNm
Máxima velocidad del motor (nkmax)	1545 rpm
Desplazamiento del eje axial admisible (ΔK_a)	7,0 mm
Desplazamiento del eje radial admisible (ΔK_r)	18,0 mm
Fuerza de reacción axial ($F_{ax1.0mm}$)	0,4KN
Rigidez radial ($C_{r_{dyn}}$)	3,0KN/mm
Rigidez torsional dinámica ($C_{T_{dyn}}$)	320 KNm/rad
Amortiguación relativa (Ψ)	1,13

Fuente [5]

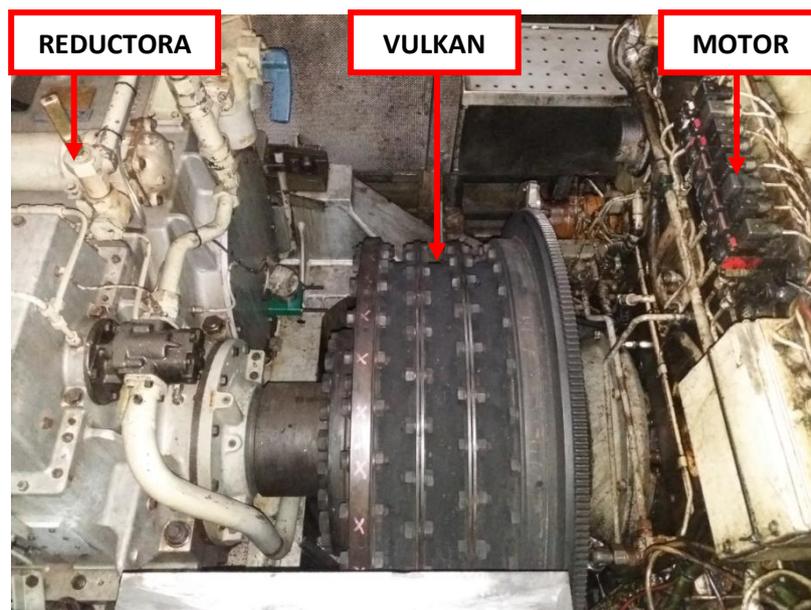


Ilustración nº11. VULKAN / Bonanza Express

Fuente [4]

3.4.3 REDUCTORA

Cada motor principal lleva acoplada una reductora REINTJES VLJ con un factor de desmultiplicación de 1,781:1 con lo que la velocidad de entrada de 1050 rpm disminuye hasta entregarle al eje del impulsor 590 rpm, con embrague de discos de accionamiento hidráulico. Es una reductora de una sola etapa con engranaje helicoidal con disposición horizontal de los ejes de entrada y salida. Las reductoras REINTJES de la serie VLJ han sido desarrolladas especialmente para embarcaciones rápidas cuyo sistema de propulsión sea a través de *waterjets*, tienen un diseño de bajo peso, compacto y así como características de funcionamiento óptimas.

ESPECIFICACIONES DE LA REDUCTORA	
Fabricante	REINTJES
Número de serie	61891
Tipo	VLJ 6831
Año de construcción	1998
Características	HR K71
Reducción	1,781:1
Desmultiplicación	helicoidal
Dirección de rotación (mirando de popa a proa)	entrada: antihorario salida: horario
Velocidad de salida	590 rpm
Velocidad de entrada	1050 rpm
Peso	3795 Kg
Capacidad del carter	230 L.
Velocidad del motor	1050 rpm
Capacidad de entrada	7200KW
El par de entrada admisible	65484,4Nm
SAE / ISO VG	40/150
Empuje de hélice admisible	408 KN
Velocidad para embragar	Min. 350 rpm. Max. 470 rpm.
Tipo de acople motor	VulKan Rato 20RK207

Fuente [6]

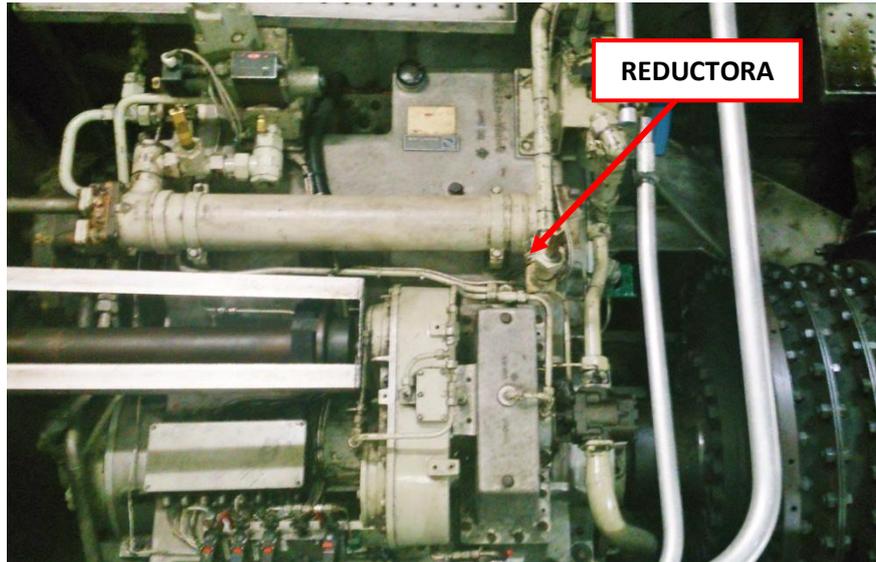


Ilustración nº12. Reductora REINTJES VLJ 6831 / Bonanza Express

Fuente [4]

La operación de embragar los motores se efectúa por medio de una señal eléctrica. Solo puede realizarse, en modo remoto los motores principales, desde el panel de arranque-paro. Para desembragar se puede realizar desde el panel principal de arranque-paro o desde la estación de maniobra. La parada de los motores principales en modo normal, emergencia o *shut down*, provoca el desacople de los ejes.

Con los motores funcionando, y antes de acoplar deben estar iluminados los leds verdes que permiten esta operación, en el panel de arranque-paro. Para permitir la operación de acople se deben da las siguientes condiciones:

1. Los flaps (Trim- Tabs) deben estar alzados, y esta condición reflejada en los dos leds verdes iluminados del panel de arranque-paro. Si no se puede alcanzar esta posición y consideramos que estamos en un área segura de maniobra, pulsando el “Clutch block” (bypass de seguridades flaps “flapsoverride”) permite acoplar el o los ejes en esta última condición.
2. El sistema hidráulico debe estar operativo con al menos un led indicativo de una bomba y el sistema presurizado, estos requisitos se tienen que dar en cada banda.
3. La posición de la cuchara debe estar a cero. Estando la indicación correcta con el led iluminado.

Después de embragar, se debe asegurar que no se produce ningún tipo de empuje, avante o atrás. Cuando el sistema esta operativo y debemos acoplar un eje, se deben dar las condiciones desde la 1 a la 3 (flaps arriba y cuchara a cero) y el motor girando por debajo de 400 rpm.[3]

A continuación se muestra en la imagen el panel arranque- paro de los motores principales. La imagen la he recortado mostrando todos los elementos explicado anteriormente



Ilustración nº13. Cuadro de control del puente / Bonanza Express

Fuente [4]

La reductora tiene dos funciones, la primera y principal es la de acondicionar la velocidad del motor a la del giro del impulsor y su segunda función es un sistema de transmisión con el que se le infiere el giro a la bomba hidráulica PTO que se encuentra en el sistema hidráulico de popa. Hay una bomba hidráulica PTO en cada banda acoplada a las reductoras de los motores interiores PIME y SIME. El eje de entrada o primario de la reductora empieza a girar una vez arranque el motor y este le transmite el movimiento al eje de la PTO y la bomba comienza

a trabajar. Su misión es dar caudal y presión de aceite a los elementos del circuito hidráulico de popa.

Navegando y con los motores a régimen la bomba PTO es la única que va en funcionamiento ya que el caudal máximo de esta bomba a ese régimen es suficiente para la parte de gobierno y estabilización del sistema hidráulico del buque .

Antes de la llegada a puerto y de bajar las revoluciones del motor se tienen que activar las bombas eléctricas, para que estas apoyen a la bomba PTO en el suministro de caudal. Tanto la bomba PTO como las bombas eléctricas son bombas de pistones de caudal variable, este tipo de bomba mantiene una presión constante y regulan el caudal.

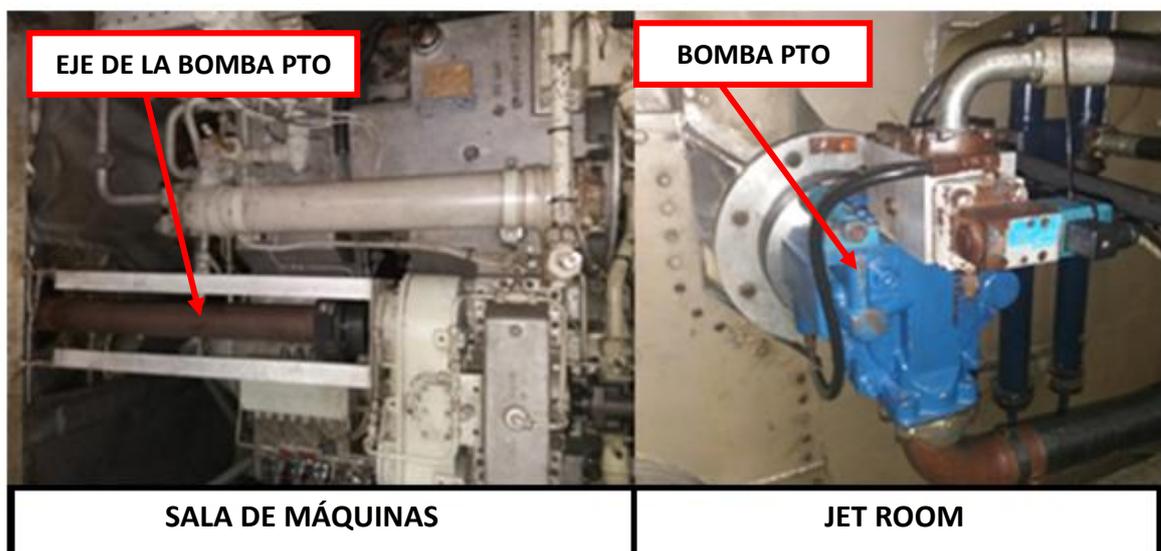


Ilustración nº14. Eje y PTO / Bonanza Express

Fuente [4]

El mamparo no es capaz de soportar las tensiones de la bomba y el eje por lo que tiene una estructura formada por cartabones soldados al mamparo, un plato de acople y un *damping ring* donde se fija la bomba, y libera las tensiones del mamparo. El *damping ring* es un acoplamiento elástico de goma que amortigua la carga y las tensiones. Al absorber las tensiones muchas veces se agrieta y se rompe pero es fácil su sustitución por uno nuevo.

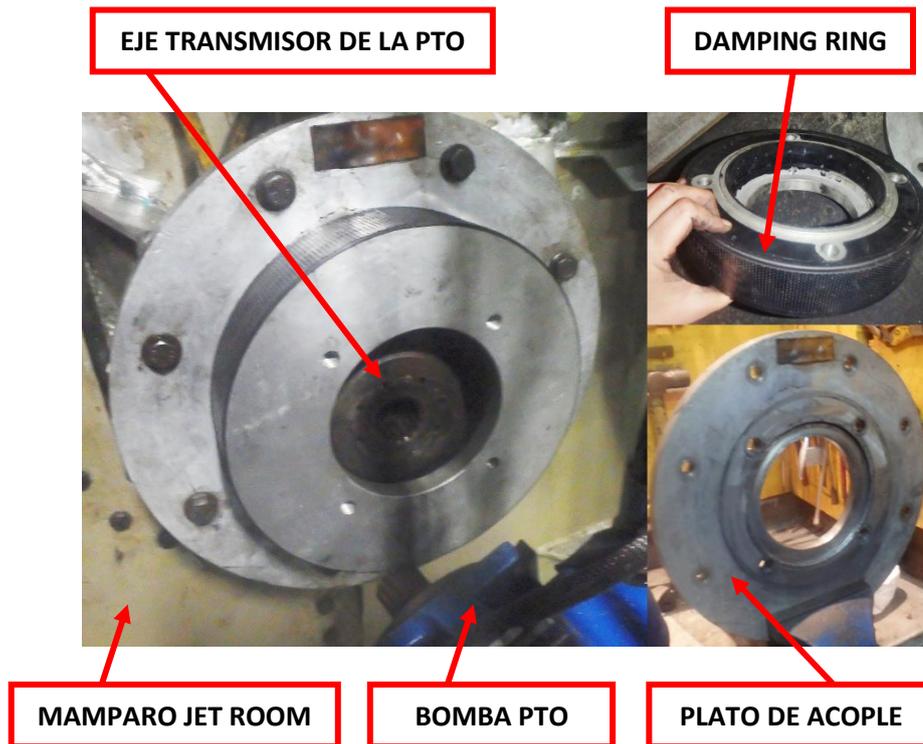


Ilustración nº15. Damping ring / Bonanza Express

Fuente [4]

3.4.4 LÍNEA DE EJES (EJE INTERMEDIO – EJE PROPULSOR)

El alineamiento de los ejes es el factor de mayor importancia, pero no hay que olvidar que el sistema propulsor depende de otros factores, a los cuales no hay que restarles importancia ya que un buen funcionamiento de estos nos lleva a evitar problemas tales como vibraciones, calentamiento excesivo, etc. Esto se consigue a través de diferentes rodamientos.

El eje intermedio de los motores exteriores SOME y POME son muy largos desde que se acoplan al eje de salida de la reductora hasta que se unen con el eje del impulsor, por lo que tienen unos descansos. Los descansos tienen el cometido de guiar ejes rotativos y soportar las fuerzas que actúan sobre ellos. En este caso son unos rodamientos antifricción de rodillos cilíndricos, llamados COOPER. Estos absorben el desgaste que se produce debido al roce cuando entra en movimiento el eje, pueden soportar cargas radiales muy pesadas y son oscilantes, lo que les permite asumir flexiones del eje.

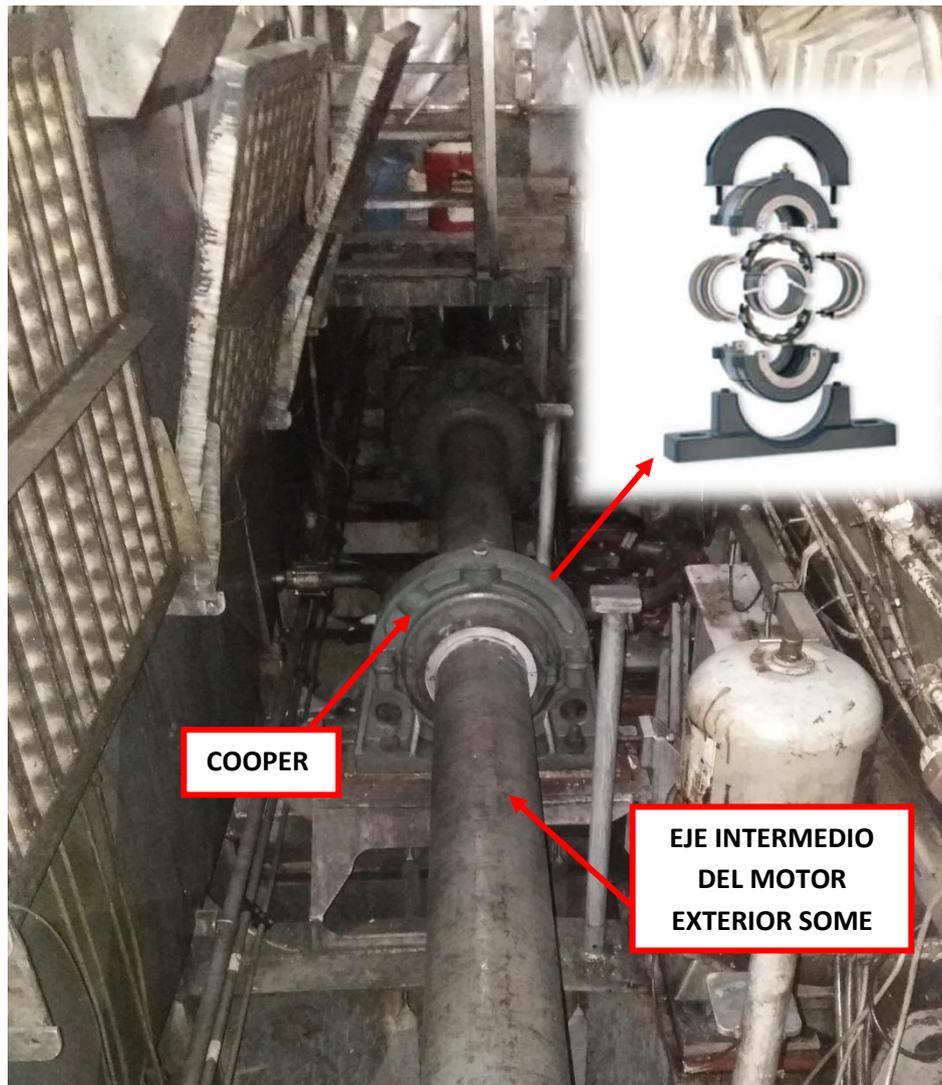


Ilustración nº16. Eje intermedio del SOME (sala de máquinas) / Bonanza Express

Fuente [4 y 7]

La unión entre el eje intermedio, el eje de salida de la reductora y el eje del impulsor se hace mediante bridas empernadas. Es una conexión muy simple, se emplea para acoplar dos ejes que requieran de buena alineación en la cual se enfrentan los dos platos (eje impulsor-eje intermedio-eje reductora) y se le realiza unos taladros pasantes en los que irán ajustados los pernos.

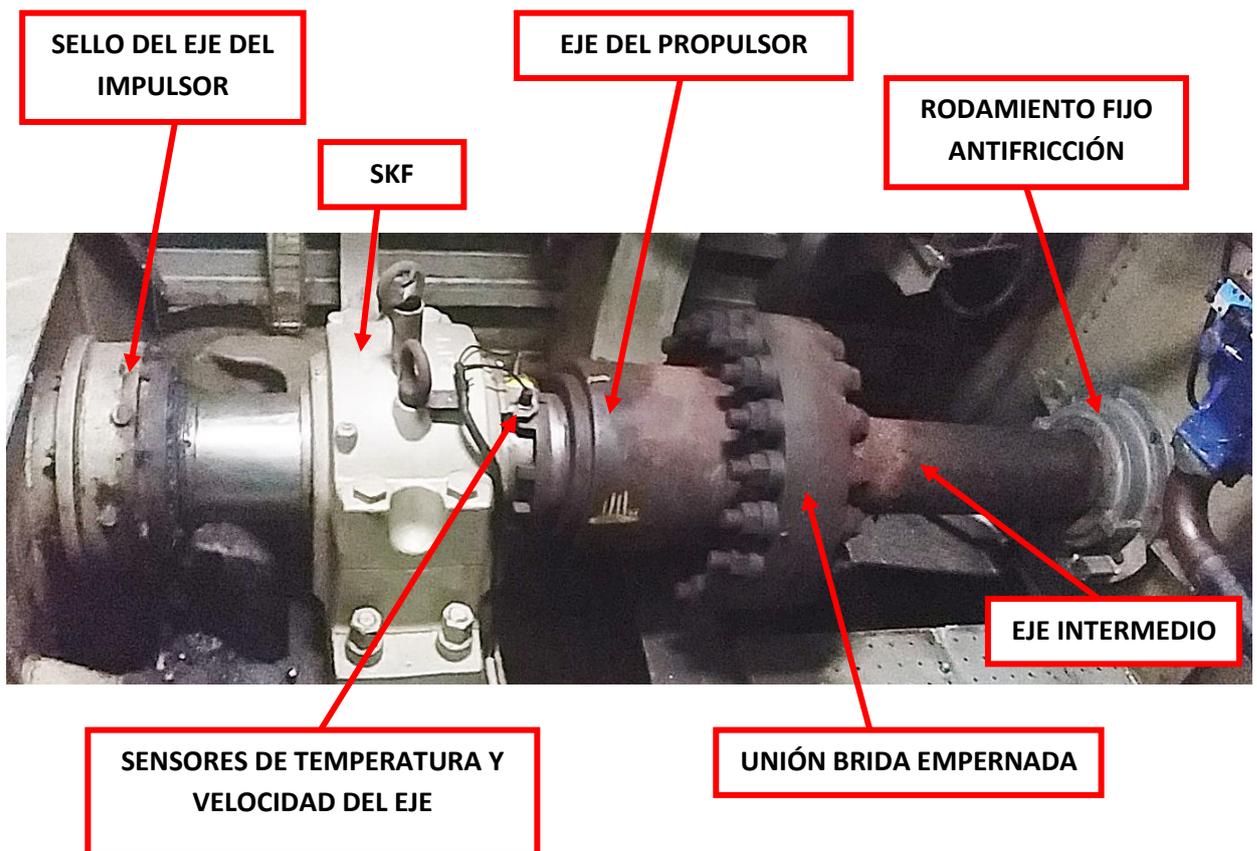


Ilustración nº17. Unión del Eje impulsor - eje intermedio del SIME (jet room) / Bonanza Express

Fuente [4]

La unidad de rodamientos sensorizados de SKF que hay en cada eje, son muy importantes, ya que es el rodamiento del eje del impulsor. Desde este rodamiento se toman medidas de alineación del eje del impulsor. En su interior tiene componentes mecánicos y electrónicos que incorporan un sensor protegido y un versátil rodamiento rígido. El cuerpo del sensor, el anillo de impulsos y el rodamiento se unen entre sí mecánicamente, formando una unidad que permite mantener tolerancias muy estrechas en el interior del rodamiento. Concretamente tiene dos sensores, uno que marca la temperatura ya que si se eleva la temperatura más de lo normal es por motivos de fricción que indica un mal funcionamiento. Y el segundo sensor, mide las r.p.m. del eje del impulsor.

En cuanto al rodamiento en sí, es de doble pista de rodillos cilíndricos, tienen dos hileras de rodillos largos, ligeramente abombados y simétricos. Estos rodamientos soportan desalineaciones, son autoalineables. Puede soportar no solamente fuertes cargas radiales sino también cargas axiales considerables en ambas direcciones. Estos rodamientos compensan la dilatación térmica del eje y mantienen bajos los niveles de fricción, por lo que tiene mayor resistencia al desgaste.[7]

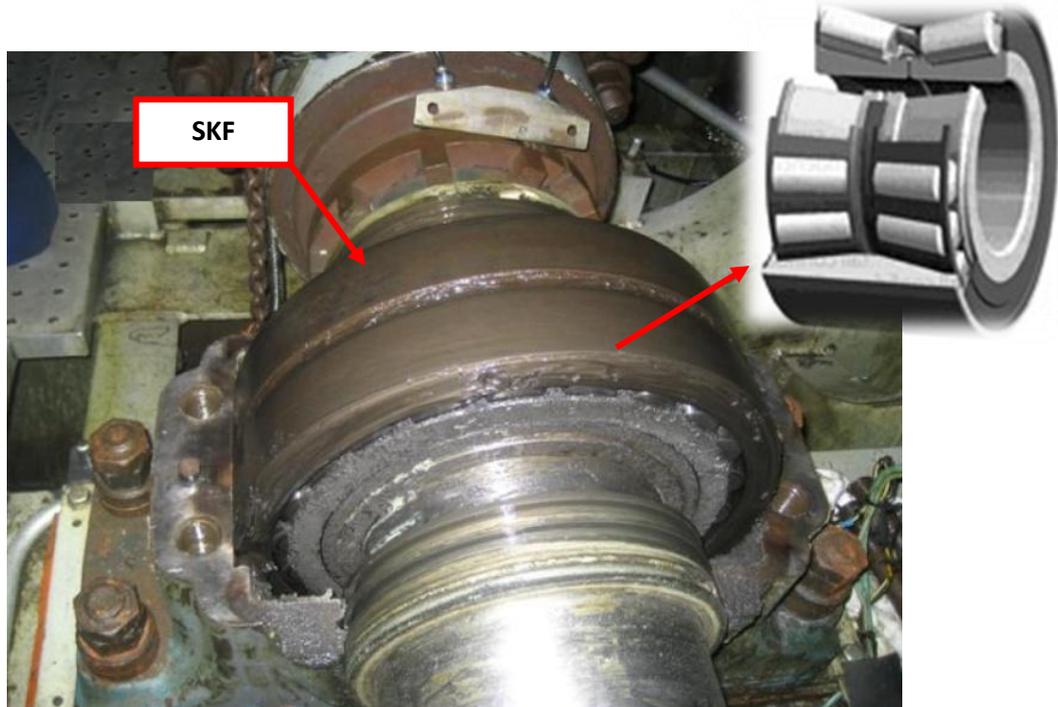


Ilustración nº18. SKF SOME / Bonanza Express

Fuente [4 y 7]

Los sellos de los ejes de los impulsores son un elemento vital ya que ellos aseguran la estanqueidad completa para que el agua del mar no se filtre a través de la línea de ejes, aportando así la máxima seguridad de funcionamiento. Además de eso reduce las perdidas por fricción y la formación de calor al mínimo.



Ilustración nº19. Eje SIME (Jet Room) / Bonanza Express

Fuente [4]

3.4.5 WATERJETS

El sistema propulsivo *waterjet* (chorro de agua), es un sistema extensamente utilizado para propulsar barcos a velocidades entre los 25-40 nudos como los *fast ferries*, debido a la gran eficiencia propulsiva que tiene y la buena maniobrabilidad.

Este sistema propulsivo, genera propulsión gracias a la variación de cantidad de movimiento del agua que está forzada hacia popa. La descarga de un chorro de agua a alta velocidad, genera una fuerza de reacción en sentido opuesto, que se transfiere a través del cuerpo del *waterjet* al casco del buque, impulsando la embarcación hacia delante. La aceleración que tiene el agua dentro del impulsor, será la causante de que la embarcación esté dotada de empuje.[8]

El Bonanza Express dispone de cuatro propulsores *WATERJETS WARTSILA LJ 150D* de tipo axial, encargados de convertir la potencia entregada por los motores principales en empuje y de dotar de gobierno a la embarcación.

Su funcionamiento es el siguiente, el agua entra a la instalación del *waterjet* a través del conducto de aspiración, después pasa al impulsor. El impulsor es movido por el motor principal, a través de una reductora. Mientras el flujo pasa a través del conducto, el agua es presurizada. Detrás del impulsor, está ubicado el *stator* que cuenta con paletas directrices para guiar el flujo de agua a la entrada de la tobera. El gobierno del chorro de agua se consigue a través de cilindros hidráulicos que orientarán la tobera (*Steerings*) y/o la cuchara (*Bucket*), para que el chorro de agua tome una dirección u otra según se requiera.

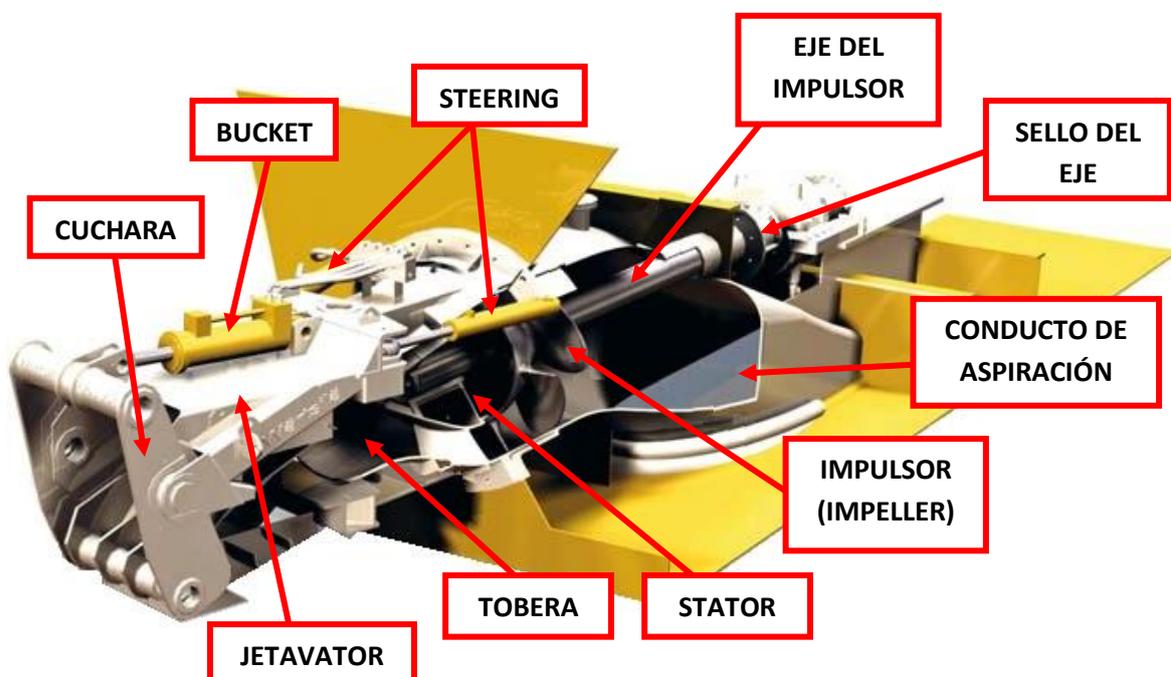


Ilustración nº20. Waterjet / Bonanza Express

Fuente [8]

Como ya he nombrado, el Bonanza Express utiliza propulsores tipo *waterjets*, que operan bajo el principio de impulso, es decir, que hidrodinámicamente estos se asemejan más a una bomba centrífuga de flujo semiaxial que a una hélice, a pesar que geométricamente son hélices entubadas, con las puntas de las palas más anchas para evitar pérdidas por circulación y estatores para alinear la vena de agua, que aspiran el agua desde el fondo del casco, y la expulsan cerca del espejo de popa del buque. Por lo que su nombre no es eje de cola como en otros buques sino eje del impulsor y lo que llamaríamos hélice se llama impulsor (*IMPELLER*).

En el impulsor, se debe cuidar especialmente la aparición de cavitación, aunque evitarla por completo es en muchas ocasiones imposible, si puede controlarse en mayor medida que en un propulsor clásico.

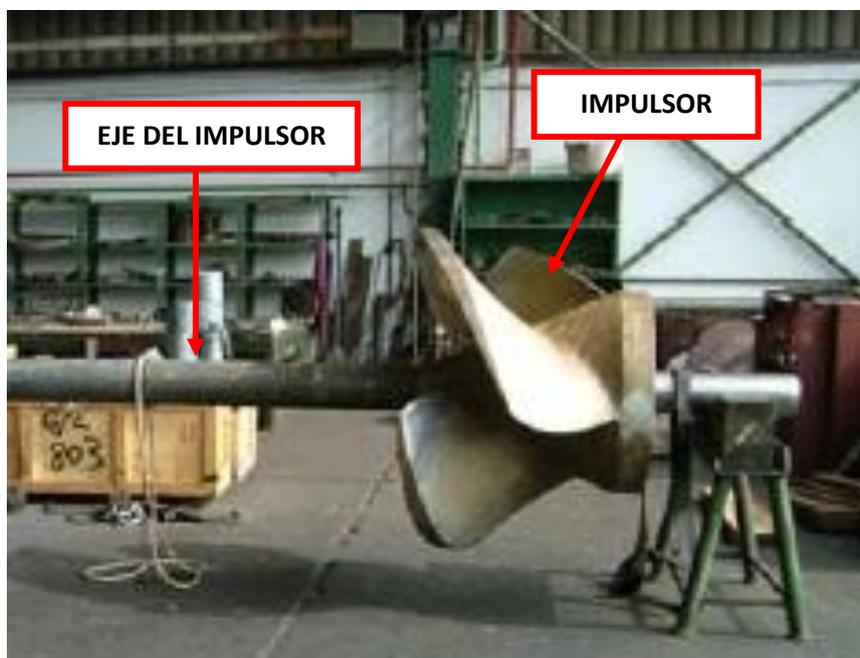


Ilustración nº21. Eje e impulsor / Bonanza Express

Fuente [9]

Los *waterjets* están dispuestos en dos parejas, una pareja en cada banda. Cada pareja de *waterjets* tiene sus toberas mecánicamente interconectadas por medio de una barra, de tal manera, que solamente es necesario el control de uno en cada par de *waterjets*. La interconexión mecánica permite los siguientes ángulos de timonaje:

WATERJETS	BABOR	ESTRIBOR
Babor/Estribor exteriores	30º	30º
Babor interior	30º	21,4º
Estribor interior	21,4º	30º

Fuente [3]

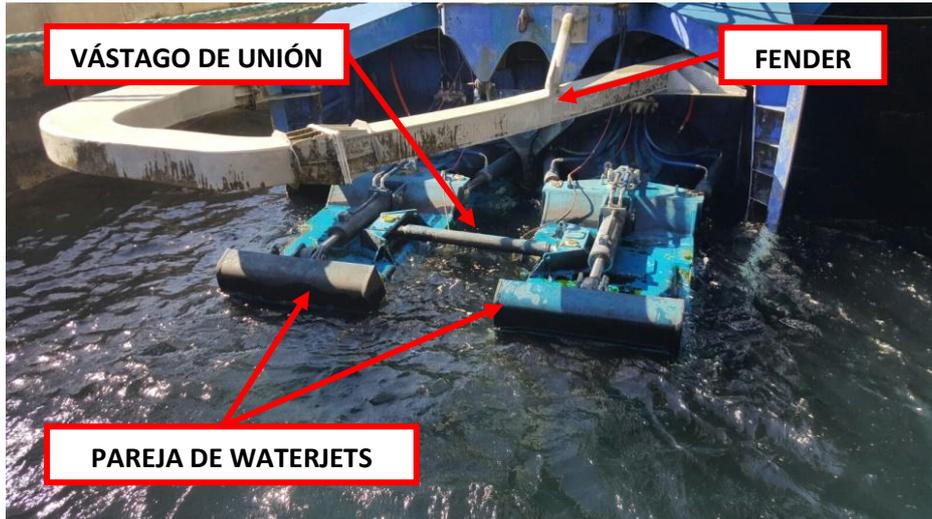


Ilustración nº22. Pareja de WATERJETS / Bonanza Express

Fuente [4]

3.5 ¿QUÉ ES UNA REDUCTORA?

Una reductora es un **sistema de engranajes** cuya función principal es reducir las altas revoluciones del motor y ajustarlas a una velocidad eficiente para la rotación del impulsor. De esta manera ambos el motor y el eje del impulsor giran a su velocidad más eficiente.

Por lo que puedo deducir que la reductora tiene una gran importancia ya que es el elemento que optimiza al máximo la eficiencia de la planta propulsora y por ello es uno de los elementos más importantes del sistema de propulsión

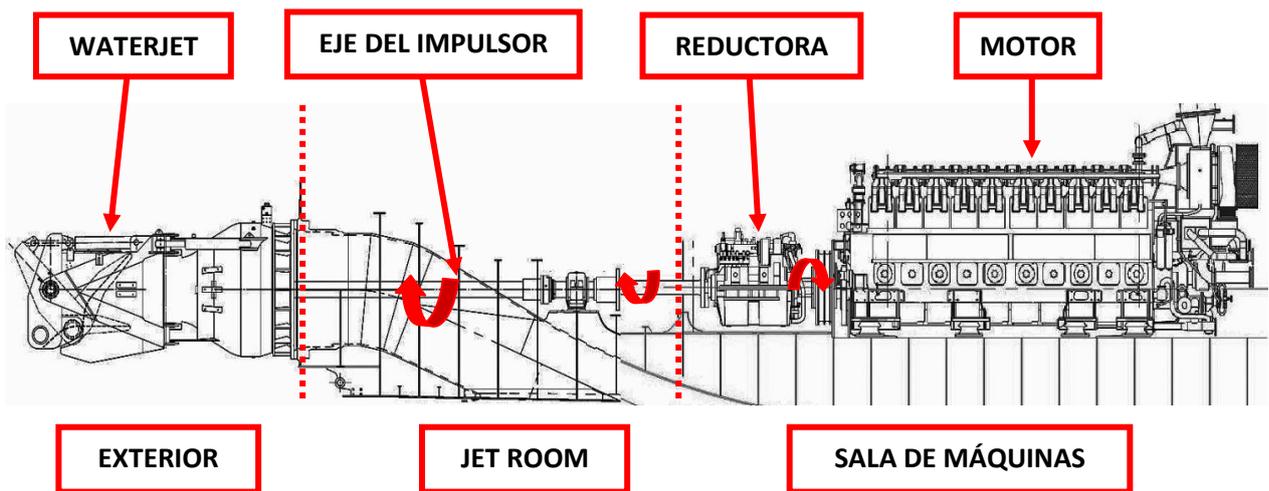


Ilustración nº23. Representación de un sistema de propulsión

Fuente [3]

IV. METODOLOGÍA

IV. METODOLOGÍA

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

4.1 DOCUMENTACIÓN BIBLIOGRÁFICA

La documentación mostrada en este 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 **FRED OLSEN EXPRESS**. Para los aspectos técnicos de la reductora he recurrido a los manuales de **REINTJES** en concreto.

4.2 METODOLOGÍA DEL TRABAJO DE CAMPO

La realización de este trabajo de fin de grado viene de mi experiencia de un trabajo de campo que consistió en describir las etapas del proceso de desmontaje de una reductora a bordo del buque y en el taller. Incorporando fotos de elaboración propias con reseñas en las mismas que aportan más claridad al lector de este trabajo de fin de grado.

4.3 MARCO REFERENCIAL

Nuestro marco referencial es el buque **BONANZA EXPRESS**, de la naviera **FRED OLSEN EXPRESS** y la empresa naval **FEROHER**.

En la cual he tenido la experiencia dentro de mi periodo de prácticas para la elaboración de este trabajo de fin de grado.

V. RESULTADOS

V. RESULTADOS

En éste apartado se tratará el objeto principal del trabajo de fin de grado, centrándonos en el desarrollo etapa por etapa del conocimiento de los elementos que forman la reductora y de la reparación de la misma.

5.1 ESQUEMA. UBICACIÓN DE LA REDUCTORA A BORDO

A continuación se muestra la distribución de la sala de maquinas. Sería la siguiente, cuatro motores y cada motor acoplado a su respectiva reductora. La reductora de la que voy hablar es la acoplada al SIME, que corresponde a uno de los motores interiores de la banda de estribor.

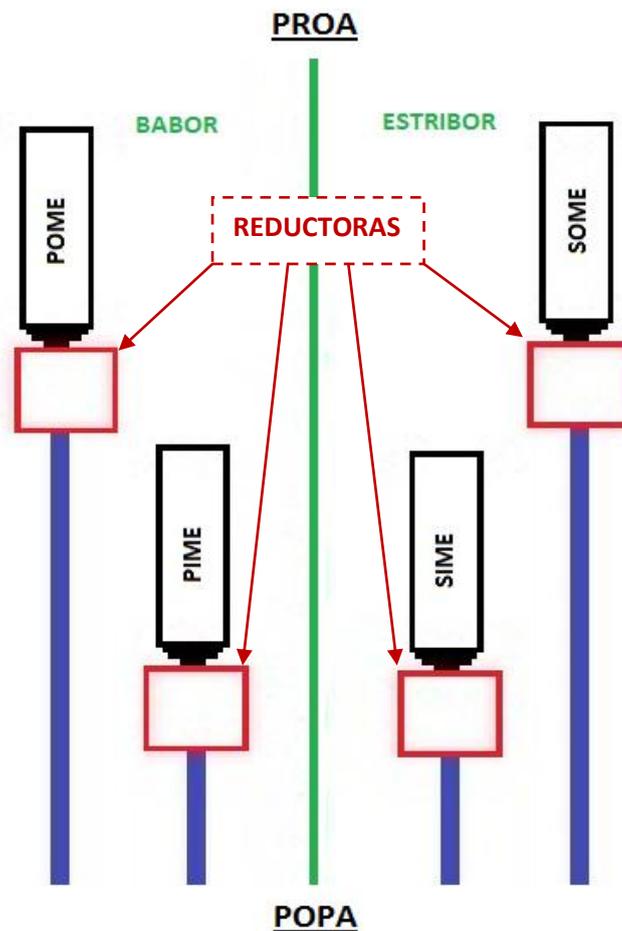


Ilustración n°24. Distribución de la sala de máquinas

Fuente [10]

5.2 CIRCUITO Y DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA REDUCTORA REINTJES

A continuación se muestra un esquema de los elementos que forman parte de la reductora REINTJES desde distintas perspectivas. En este caso, la imagen siguiente es la reductora vista desde arriba, la planta.

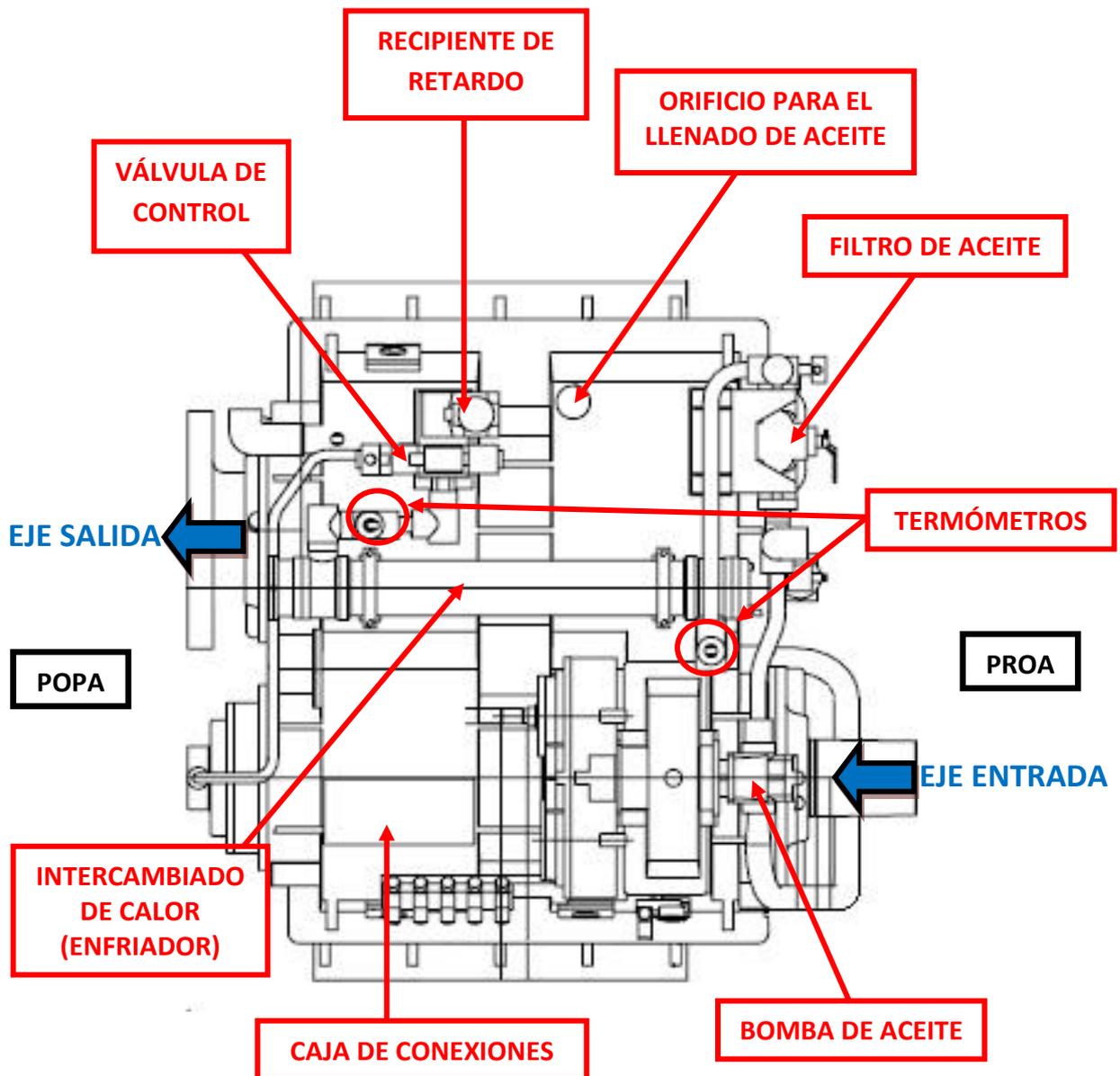


Ilustración nº25. Elementos de la reductora REINTJES (planta)

Fuente [6]

La imagen que se muestra se ve la reductora desde otro punto de vista en este caso es uno de sus laterales, el perfil. Aquí se puede ver distintos elementos que en la imagen anterior no se apreciaban.

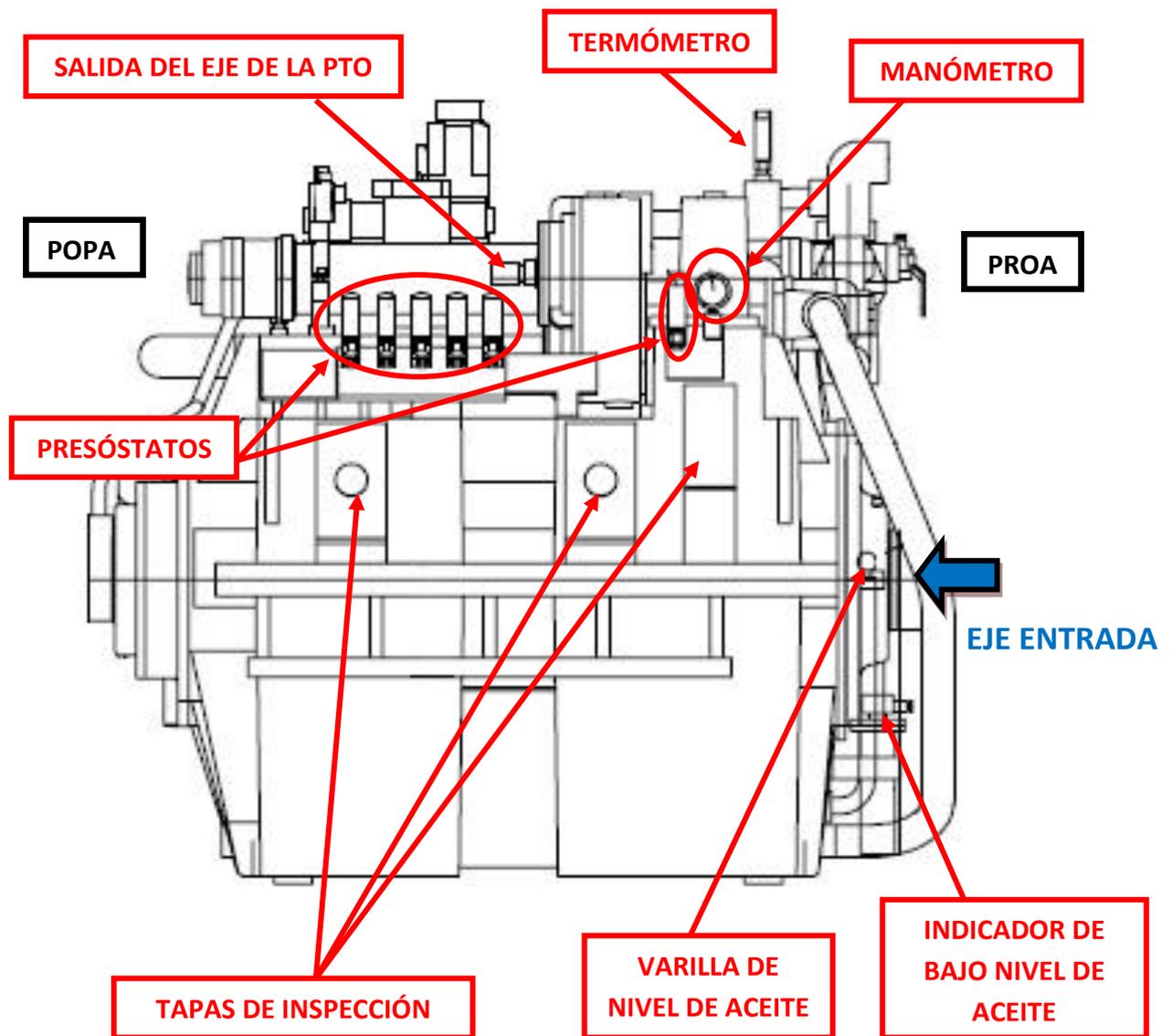


Ilustración n°26. Elementos de la reductora REINTJES (perfil)

Fuente [6]

El esquema hidráulico de la reductora *REINTJES* me va ayudar a explicar los distintos elementos mostrados anteriormente. El sistema hidráulico funciona de la siguiente manera:

La potencia del motor se transmite a través del *vulkan* al eje de entrada de la reductora. El eje de entrada está conectado a la bomba de aceite. Cuando esta gira, suministra presión al aceite que succiona desde el carter, para la lubricación de los elementos de la reductora y el embragado de los discos de embrague. El aceite es filtrado y dirigido a través del intercambiador de calor, donde se enfría para que la temperatura del aceite no sobrepase la temperatura normal de funcionamiento. La presión de aceite se regulariza a la presión de funcionamiento en la válvula limitadora de presión. Mientras que la acción de embragado y desembragado se realiza a través de la válvula de control.

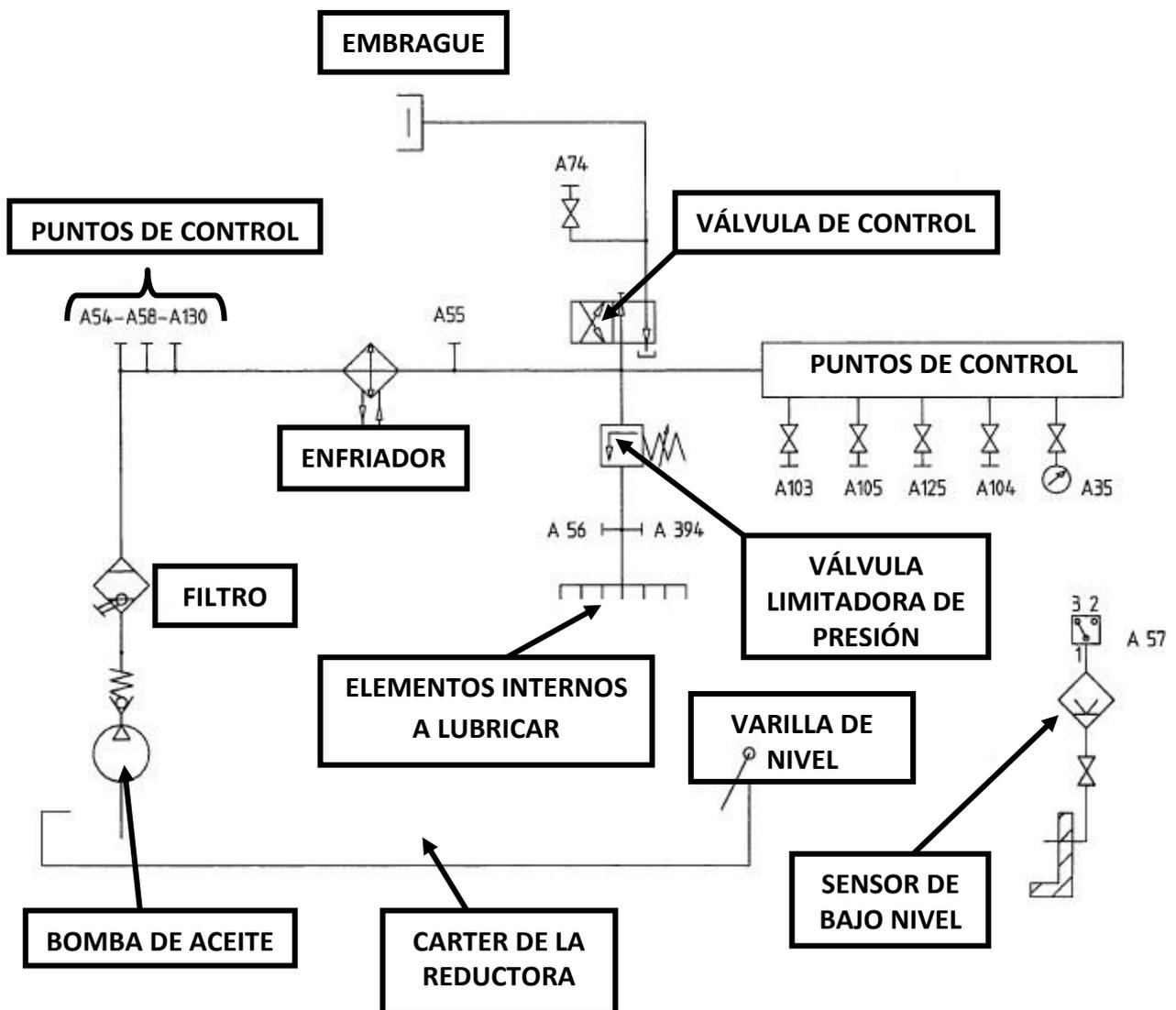


Ilustración nº27. Esquema hidráulico REINTJES

Fuente [6]

5.2.1 BOMBA DE ACEITE ACOPLADA

La bomba hidráulica es un elemento esencial en todo circuito, ya que es la encargada de transformar la energía mecánica en energía hidráulica (caudal y presión del fluido hidráulico en el circuito). En este caso se trata de una bomba rotativa de engranajes externos. Es una de los tipos más comunes de bombas de caudal constante.

El eje de entrada de la reductora se engrana a una corona donde el eje motriz de la bomba de aceite esta acoplado. Cuando esta gira suministra presión al aceite para la lubricación y el embragado de los discos. La presión normal de servicio es de 22 bar.

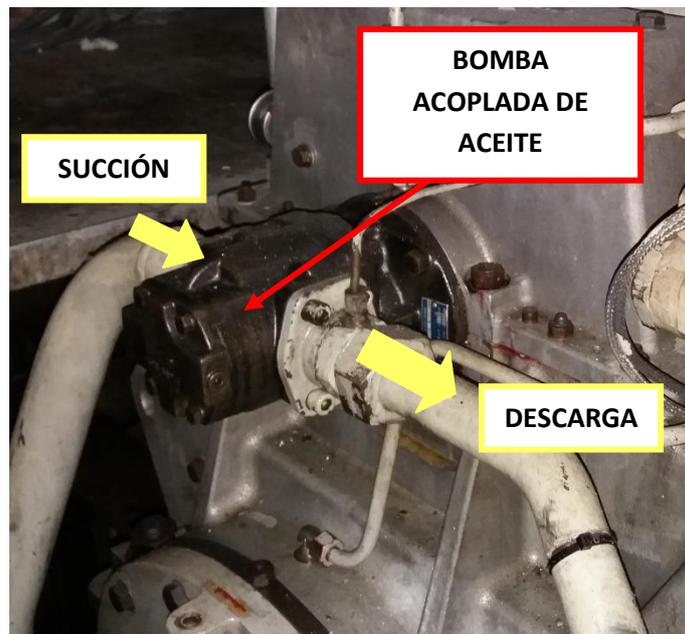


Ilustración nº28. Bomba acoplada

Fuente [4]

Esta bomba se compone de dos piñones dentados, acoplados, que dan vueltas con un cierto juego dentro de un cuerpo estanco. El piñón motriz va enchavetado en una corona que se pone en movimiento ya que engrana con el dentado que tiene la carcasa del embrague que se encuentra en el eje de entrada de la reductora. La tubería de aspiración y la tubería de descarga están conectadas cada una por un lado, sobre el cuerpo de la bomba.

A consecuencia del movimiento de rotación que la reductora le provoca al eje motriz, este arrastra al engranaje respectivo el que a su vez provoca el giro del engranaje conducido. Los engranajes son iguales en dimensiones y tienen sentido de giro inverso.

Con el movimiento de los engranajes, en la entrada de la bomba se originan presiones negativas. Como el aceite esta en el carter de la reductora y está a presión atmosférica, se produce una diferencia de presión, lo que permite el traslado de fluido desde el carter hacia la

entrada de la bomba. Así los engranajes comienzan a tomar aceite entre los dientes y a trasladarlo hacia la descarga. Por efecto del hermetismo, el aceite queda impedido de retroceder y es obligado a circular en el sistema. Los dientes de los piñones al entrar en contacto por el lado de salida expulsa el aceite contenido en los huecos, en tanto que el vacío que se genera a la salida de los dientes del engranaje provoca la aspiración del aceite en los mismos huecos.

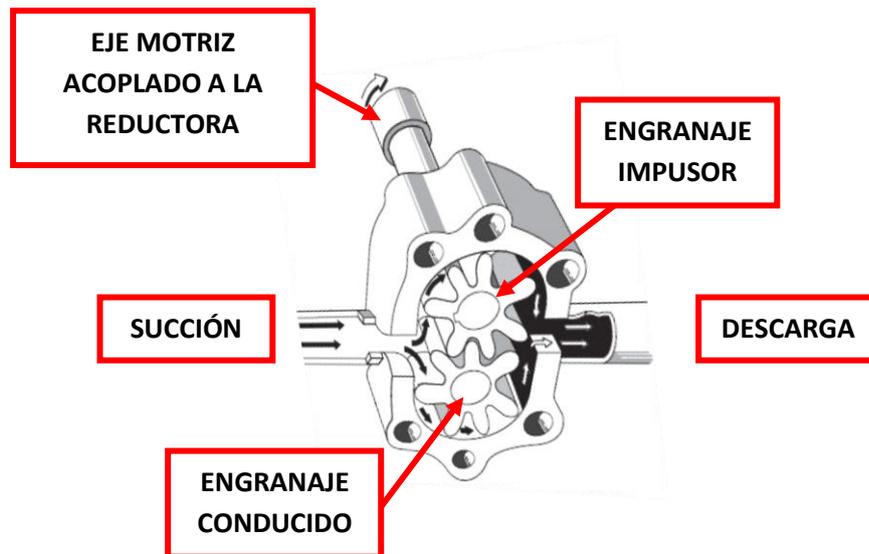


Ilustración nº29. Esquema bomba acoplada

Fuente [11]

5.2.2 FILTRO DE ACEITE

El filtro de aceite es, junto al propio aceite, una de las partes clave en el funcionamiento y lubricación de la reductora. Es importante que el aceite este en un estado óptimo, por lo que se debe controlar además del envejecimiento con cambios de aceite, su propiedad como lubricante y para eso se utilizan los filtros.

Su principal función es proteger el aceite de las impurezas que puedan llegar a él antes de que inicie su recorrido de lubricación por el circuito de engrase de la reductora. De no ser así, las partículas metálicas que se pueden desprender del rozamiento de algunos elementos como los engranajes, serán arrastrados por el aceite e iniciarían con él un proceso de engrase de las piezas de la reductora, que podría llegar a provocar desgastes prematuros y obstrucciones en cualquier elemento móvil de la reductora.

El filtro de la reductora es un filtro conmutable, quiere decir que tiene dos filtros uno que está en servicio y otro en *stand by*. Este tipo de filtro se suelen utilizar como en este caso, para circuitos que requieren un flujo continuo con una mínima pérdida de presión, el filtro doble proporciona un rendimiento óptimo. El flujo se desvía de un depósito al otro sin interrupción moviendo la palanca, que hace girar la válvula, liberando el flujo hacia el depósito correcto. Esto facilita mucho el cambio de filtro estando la reductora en funcionamiento.

El elemento filtrante se elabora generalmente con papel de celulosa y mediante un sencillo sistema se elabora. El papel se coloca sobre un armazón metálico para que la presión del aceite no lo deforme y éste por presión se ajusta a la parte superior del cuerpo del filtro.

Este filtro es de 25 μ (micrones), esto indica la capacidad para extraer contaminantes según el tamaño, por lo que es capaz de filtrar partículas mayores 0.03mm.

El filtro tiene un sensor que indica que el filtro de aceite está sucio por presión diferencial. El sensor esta calibrado para que de alarma cuando la presión diferencial llega a 5 bar.

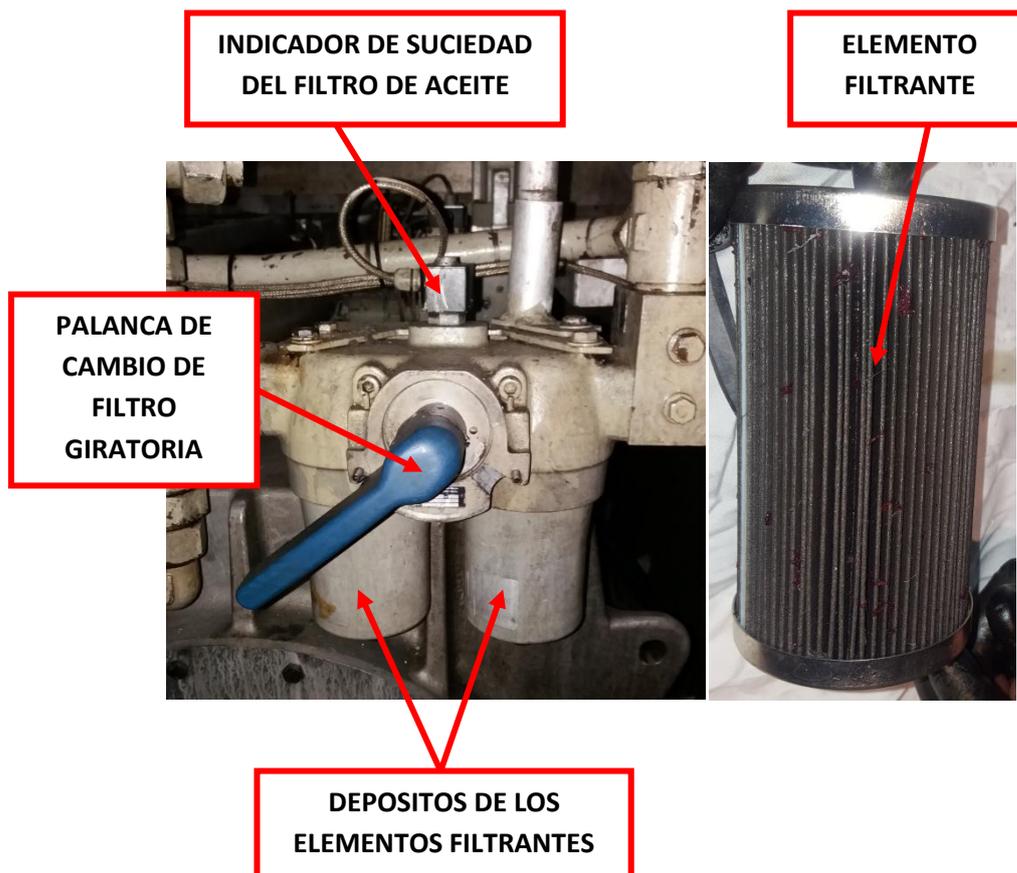


Ilustración n°30. Filtro de aceite

Fuente [4]

5.2.3 INTERCAMBIADOR DE CALOR (ENFRIADOR)

La reductora no deja de ser un mecanismo de engranajes que tiene partes móviles que continuamente están rozando y sufren fricción constantemente. Como ya sabemos la fricción produce calor y puede provocar un rápido desgastes de los elementos que forman parte de la reductora. Los elementos de la reductora están preparados para soportar temperaturas altas pero para mantener la fricción y la temperatura en unos valores razonables disponemos del sistema de lubricación, ya que disipa el calor de los elementos.

El aceite tiene que mantenerse dentro de unos valores de temperatura porque si se calienta demasiado pierde sus propiedades de lubricación, limpieza y protección. Por esta razón, se hace pasar el aceite por el enfriador para que este tenga una temperatura óptima. Se debe tener en cuenta que por cada 10°C que se incremente la temperatura de operación, la vida del aceite se recorta a la mitad. Esto significa que si tenemos una temperatura elevada y el intercambiador de calor no se ajusta adecuadamente, se producirá una oxidación más acelerada. La temperatura normal de aceite de servicio a la salida del enfriador oscila entre 50 - 60° C y puede ser leída en el termómetro tanto la temperatura de entrada como la de salida para poder controlar la transferencia de calor que se produce.

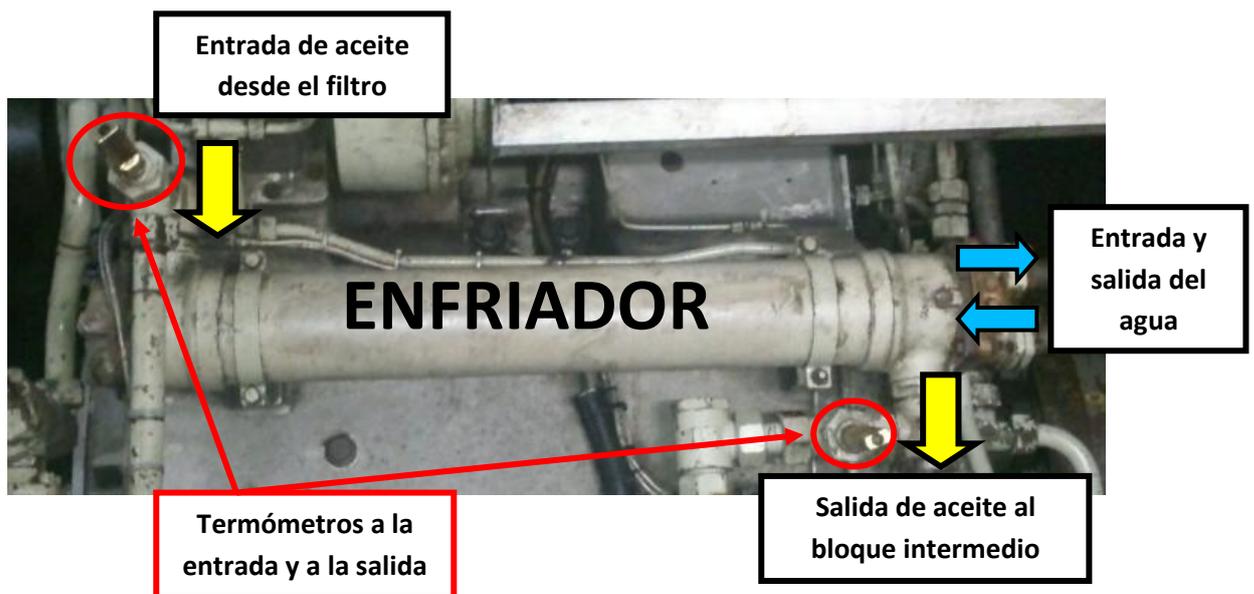


Ilustración nº31. Intercambiador de calor

Fuente [4]

El enfriador que se utiliza es un Intercambiador de calor tubular, que consiste en un conjunto de tubos dentro de una carcasa. Por los tubos se hace pasar el agua de mar que es el que se encarga de hacer el intercambio de temperatura con el aceite que se hace pasar por la carcasa. El intercambiador de calor va equipado con 3 ánodos para la protección contra la corrosión de la cámara de agua y del haz de tubos. Estos ánodos se encuentran situados en la entrada del agua, en la tapa de inversión y en la salida del agua.

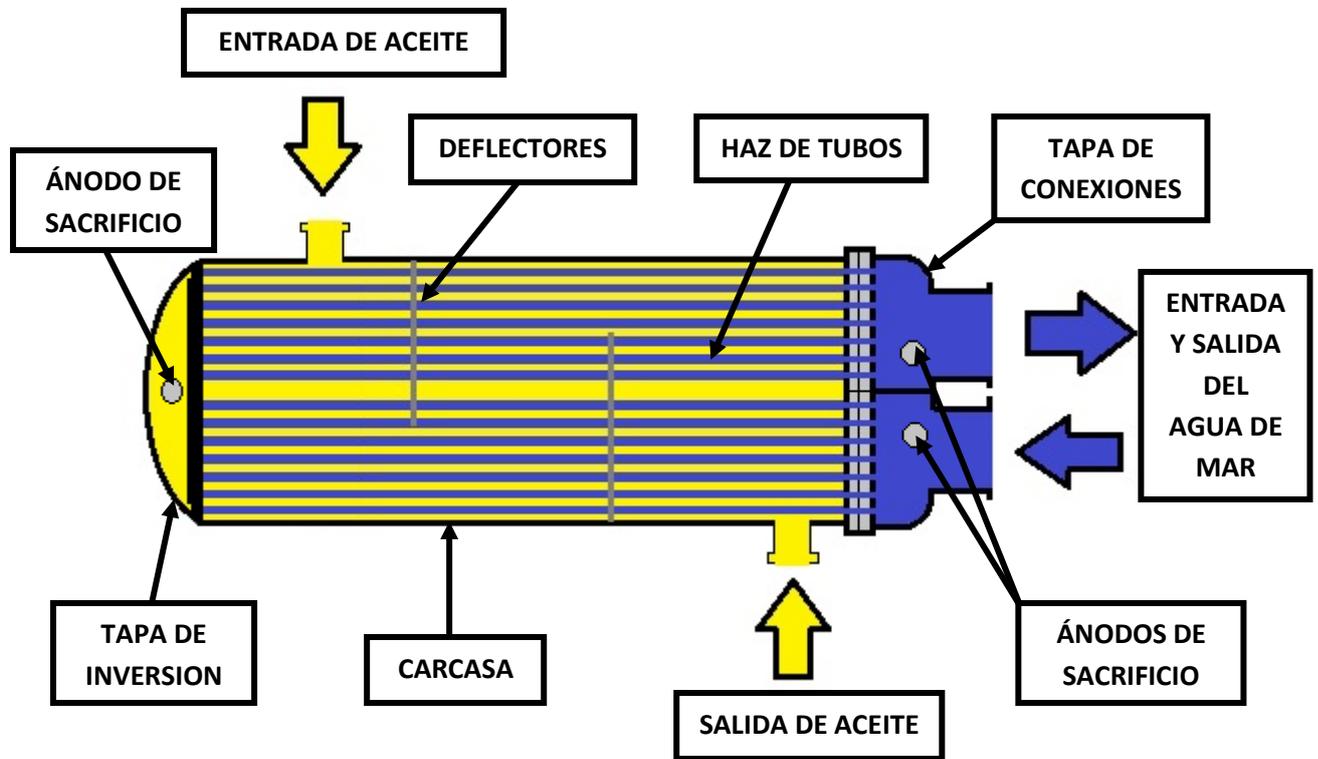


Ilustración nº32. Esquema del intercambiador de calor

Fuente [10]

5.2.4 VÁLVULA DE CONTROL Y VÁLVULA LIMITADORA DE PRESIÓN

La unidad completa de conexión para la puesta en marcha del engranaje está instalada en la carcasa de la reductora. Está formada por la válvula limitadora de presión, la válvula de control y el de bote de retardo. A continuación voy a explicar cada elemento, su funcionamiento y la función que cumple en el sistema hidráulico de esta reductora.



Ilustración nº33. Bloque de control

Fuente [4]

Válvula de control

La válvula de control, es una válvula direccional de corredera con accionamiento por solenoide. Se trata de una válvula de cuatro vías y dos posiciones (4/2) que son la de embragado y desembragado de la reductora. Se puede comandar el arranque, la parada y el sentido del caudal. Esta válvula se compone de una carcasa, dos solenoides, el pistón de mando y dos resortes de retorno. En estado de reposo el pistón de mando es mantenido en posición media o de salida por los resortes de retorno. El accionamiento del pistón de mando se efectúa mediante la solenoide en baño de aceite.

La fuerza de la solenoide actúa mediante el impulsor sobre el pistón de mando desplazándolo de su posición de reposo hasta la posición final deseada. De esta manera se habilita el sentido de caudal requerido de P hacia A y de B hacia T o de P hacia B y de A hacia T. Cuando el solenoide se desexcita, el pistón de mando es desplazado nuevamente a posición de reposo por el resorte de retorno. Tiene un accionamiento de emergencia opcional permite desplazar el pistón de mando sin excitación de la solenoide. En caso de fallo de la puesta en marcha en forma eléctrica se puede conectar la válvula de control con el accionamiento de emergencia.[12]

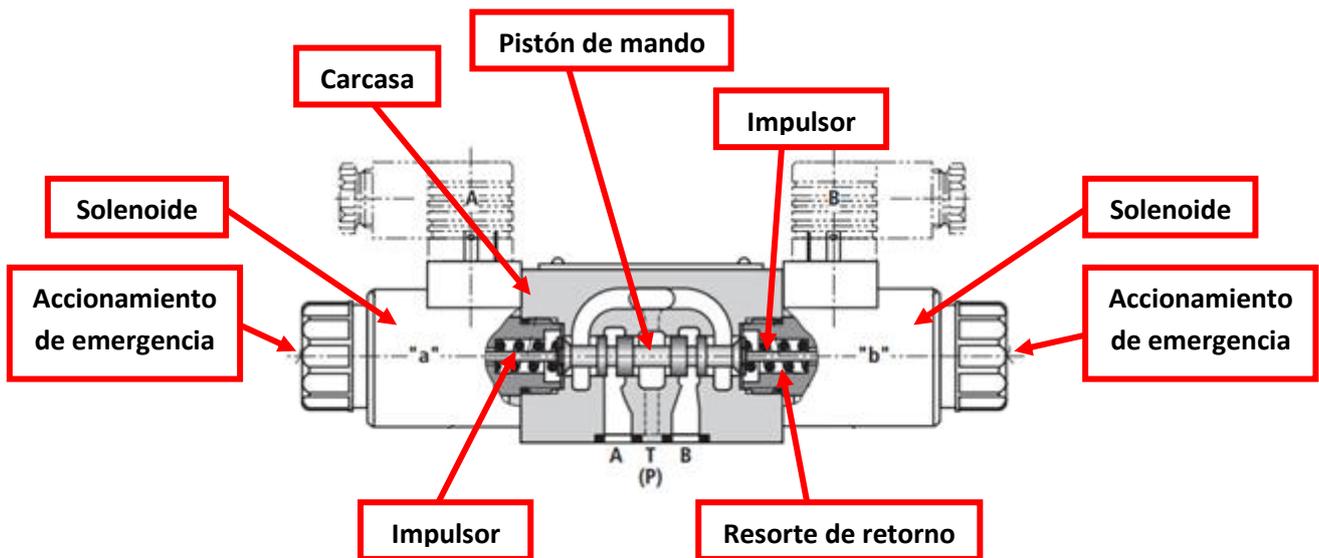


Ilustración nº34. Esquema válvula de control

Fuente [12]

Válvula de formación de presión

La válvula de formación de presión está concebida como bloque hidráulico, está atornillada directamente con la carcasa de la reductora y tiene en la parte superior el formato de perforación *NG 10* para la conexión de la válvula de control. El aceite de la válvula de formación de presión es desviado hacia la carcasa del engranaje y desde allí repartido para la lubricación es decir el enfriamiento de los discos de embrague, engranajes dentados y rodamientos.

A los costados de la válvula de formación de presión se encuentran ubicadas las conexiones para la tubería de presión, tuberías de maniobras, para la reductora, también para conexiones de medida para la presión de trabajo y presión de las tuberías de maniobra.

La válvula de formación de presión es una válvula limitadora de presión directamente maniobrable con funcionamiento hidráulico.

Se logra con un émbolo de corredera cargado por un resorte. La función de formación de presión se realiza por el funcionamiento de émbolo. Este es admitido con el acoplamiento conectado sobre la válvula de control integrada con aceite de maniobra. Después de lograr el primer grado de presión (cerca de 7 bar) sube bruscamente la presión en el acoplamiento hasta la presión de trabajo.

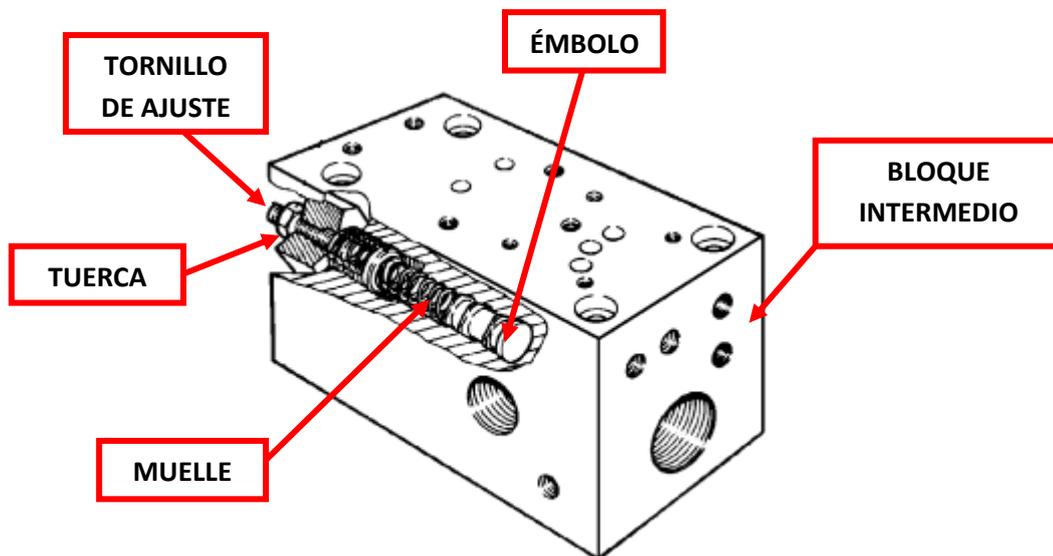


Ilustración n°35. Esquema válvula limitadora de presión

Fuente [6]

Cuando el aceite suministrado por la bomba es filtrado y enfriado, la presión del aceite se regula a la presión de funcionamiento en la válvula limitadora de presión. El manómetro de la caja de cambios indica la presión de trabajo. La presión de funcionamiento normal es de aproximadamente de 22 bar.

Con la válvula de control en la posición desembragado (DISENGAGE) o “STOP”, el aceite será utilizado principalmente para lubricar los rodamientos, los cojinetes y los engranajes. También para el enfriamiento de los disco del embragues y volver después al cárter de la reductora.

Si la válvula de control es accionada a la posición de embrague (ENGAGED), la presión de aceite fluye de la válvula de control, presiona el embrague y fluye hacia la válvula de limitadora de presión que trabaja cuando la presión de aceite supera la presión fijada para la válvula.

Si la válvula de limitadora de presión esta en servicio, desvía parte del flujo de aceite desde el embrague hacia el bote de retardo que se llena antes de que el embrague reciba todo su aceite a fin de crear una presión de servicio. Cuando el bote de retardo está lleno, aumenta el flujo de aceite hacia el embrague y genera una presión para poner en marcha el mismo.

Al cambiar la posición de la válvula de control a DISENGAGE o “STOP”, se interrumpe el flujo de aceite hacia el embrague y éste desembraga mientras que simultáneamente el aceite sale de la carcasa del embrague. El flujo se dirige hacia el cárter de la reductora.

El circuito de retardo permite el acoplamiento suave del embrague, teniendo en cuenta, que es necesario para compensar la inercia del impulsor. La presión de la válvula se calibra en fábrica y normalmente no requiere ajuste.[6]

5.2.5 PUNTOS DE CONTROL

La reductora está equipada con una serie de puntos de control para el circuito, con los siguientes equipos de supervisión:

- Control de la presión de aceite:
 - Un presostato para la señal "presión de servicio demasiado baja"
 - Un presostato para la señal "parada del motor principal"
 - Un presostato para la señal "presión de embrague"
 - Un presostato para la señal "presión de lubricación demasiado baja"
 - Un transmisor de presión (para la indicación remota eléctrica de la presión de funcionamiento)
 - Un manómetro que indica la presión de trabajo de la bomba acoplada
- Control de la temperatura del aceite:
 - Un termómetro para indicar la entrada de la temperatura del aceite al intercambiador de calor.
 - Un termómetro para indicar la salida de la temperatura del aceite del intercambiador de calor.
 - Un termómetro para indicar la temperatura del aceite lubricante
 - Un presostato para la señal "temperatura del aceite demasiado alta"
- Contaminación del filtro de aceite y nivel de aceite:
 - Un presostato diferencial para la señal para "filtro contaminado o sucio"
 - Supervisión del nivel de aceite
 - Sensor para la señal "nivel de aceite de la reductora demasiado bajo"

5.2.6 EJE ACOPLADO PTO

Como explique en el capítulo tres, la bomba PTO va acoplada a la reductora. El eje de la PTO se acopla por medio del *centafle* y el *centaloc* que forman un conjunto altamente flexible y torsional que reduce las vibraciones que se puedan producir. La corona principal es movida por la carcasa del embrague que está alojada en el eje de entrada de la reductora, por lo que en cuanto el motor entre en funcionamiento el eje empieza a gira. La corona principal tiene acoplado un eje que le transmite el movimiento a la corona de la PTO y esta a su vez se engrana con el piñón. El piñón de acople al eje de la bomba se hace firme en el *centaloc* para transmitir el movimiento al eje de la PTO. La zona donde hay una “X” esta vacía ya que no hay nada mas acoplado pero se podría poner una segunda bomba.

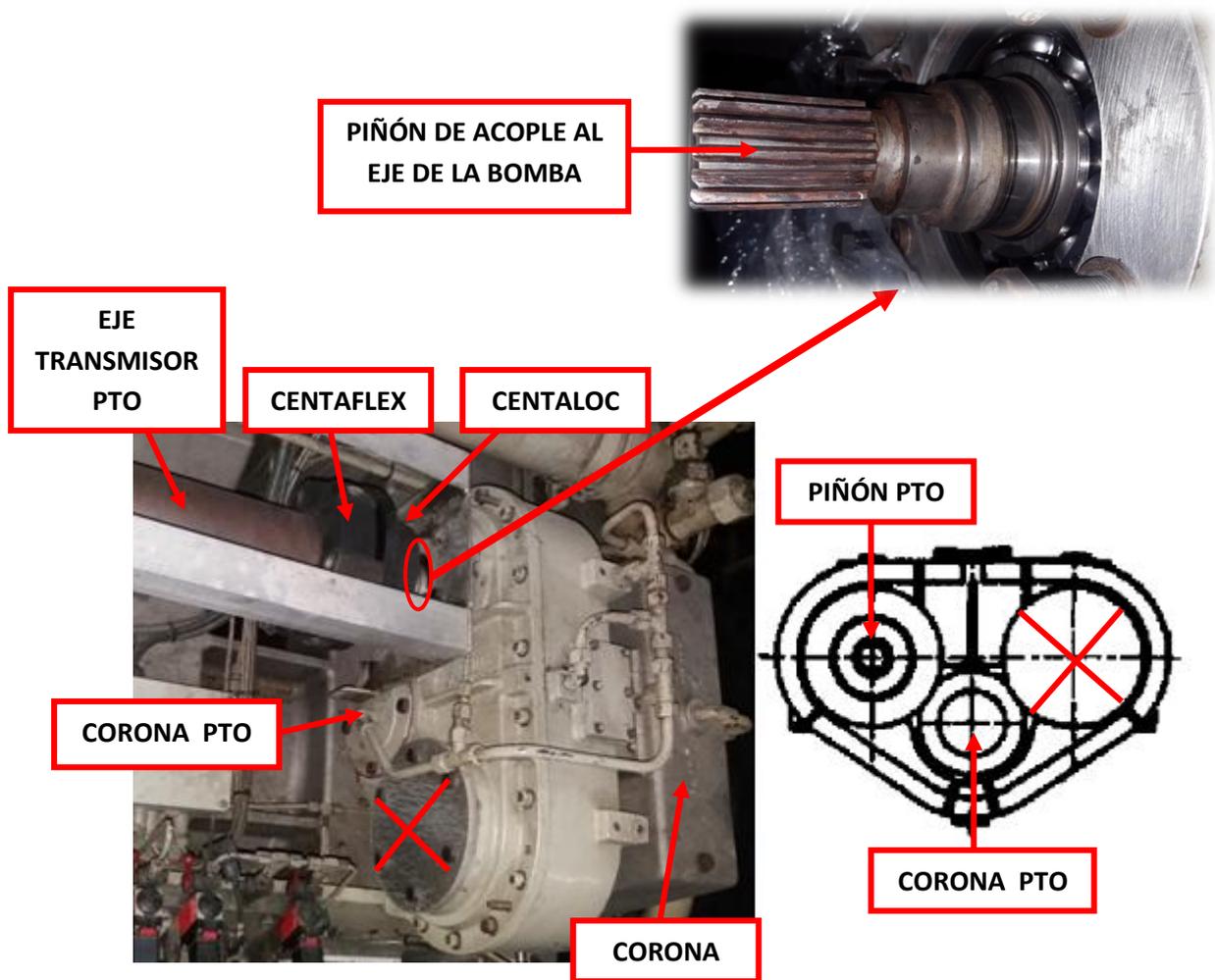


Ilustración nº36. Eje PTO acoplado

Fuente [4 y 6]

5.3 PLAN DE MANTENIMIENTO

Hay tres factores fundamentales para llevar a cabo un buen mantenimiento:

- Seguridad en el servicio
- La disposición para el servicio
- Bajos costes en el mantenimiento

Estos tres factores están relacionados entre sí ya que es muy importante no solo la seguridad a bordo sino también que el equipo esté disponible ya que la naviera fideliza a sus clientes con sus horarios y puntualidad. Si falla una reductora eso significa que el buque deja de tener uno de sus motores operativos con lo que esto conlleva, retrasos en los horarios establecidos y falta de seguridad en el buque.

Es muy importante un buen mantenimiento ya que si lo llevas a cabo los gastos como puedan ser cambios de filtros, cambios de aceite, cambio de los elementos del enfriador para que el intercambio de temperatura sea el adecuado, etc. Supone un gasto menos considerable que si la reductora está descuidada, ya que el cambio de muchos de sus elementos tienen un precio superior.

En el plan de mantenimiento están resumidos los trabajos necesarios y subdivididos en etapas de mantenimiento que van en función del tiempo.

- ✓ Etapa de mantenimiento 1: Cada día con el motor parado

Controlar el nivel de aceite por medio de la varilla de medición, si el nivel del aceite es muy bajo y está por debajo de las marcas debe rellenarse.

También es importante mirar la reductora para reconocer eventuales fugas y evitar daños consiguientes. Para ellos es importante que la reductora se mantenga siempre limpia igual que la bancada de la misma.

- ✓ Etapa de mantenimiento 2: Cada día con el motor en marcha

Comprobar la presión de funcionamiento, se debe leer en el manómetro instalado la presión de trabajo con el motor en marcha y acoplado. La presión de trabajo llega a ser de los 22 bar.

La temperatura del aceite de servicio a la salida del enfriador oscila entre los 50-60° C y puede ser leída en el termómetro. Si la temperatura del aceite es superior a la normal de servicio se debería determinar las posibles causas e iniciar las medidas correctivas apropiadas.

La temperatura del intercambiador de calor, normalmente debería haber entre el enfriador de aceite entre la entrada y la salida del agua de refrigeración una diferencia de temperatura de 3 a 5 °C. Un aumento de la diferencia de temperatura del agua de

refrigeración indica ensuciamiento en el lado de agua del enfriador o un flujo de agua demasiado pequeño.

El indicador de la saturación del filtro de aceite, en caso de una alta viscosidad de aceite o al estar frío el aceite en la fase de arranque, la presión diferencial es mayor. Por ese motivo puede tener una alarma errónea. Hay que comprobar que esta alarma es real o no. En caso de que sea real se deberá cambiar de filtro del que está en servicio al que está en “stand by”.

Controles visuales, comprobar posibles fugas, parte inseguras y la salida de eje de la PTO sobre todo fijarse que el *centaloc* y el piñón no tengan desplazamiento.

El ruido de funcionamiento, ya que un sonido extraño puede avisarnos de una posible avería, entre otras el estado de la alineación del eje del motor con respecto a la reductora o la reductora con respecto al eje del impulsor.

- ✓ Etapa de mantenimiento 3: Después de cada periodo de funcionamiento de 2000 horas de servicio o cada 6 meses.

En este grado de mantenimiento está previsto cambiar el aceite. El cambio de aceite debe efectuarse estando parado el motor y el aceite del reductor a la temperatura de servicio. La reductora tiene una válvula en su parte inferior para el vaciado de aceite. Se vacía por medio de una bomba hacia una pipota. Se vuelve a llenar con aceite nueva, controlando si el nivel de aceite se encuentra en la marca superior de la sonda de nivel.

Se renuevan los elementos del filtro de aceite. Se deberá comprobar si hay restos metálicos en el aceite. Para cambiar la posición del filtro ya que al ser doble conmutable tiene dos filtros, uno está en servicio y otro en *stand by*. En este caso se acciona la palanca de compensación de presión situada en la palanca de inversión y retención.

Al mismo tiempo gira esta última hasta que enclavada en la otra posición. La palanca queda ahora situada en el lado del elemento filtrante que hay que sustituir. Se afloja el tornillo de ventilación, máximo hasta que llegue a su tope. Desatornillar girando hacia la izquierda el depósito del filtro. En este punto se deberá comprobar si hay restos metálicos tanto en el aceite como en el filtro. Se limpia el depósito del filtro y renueva el elemento filtrante por uno nuevo.

Comprobar que la tórica que hace sello con el depósito está en buen estado. Atornillar el depósito del filtro hasta que haga tope con la tórica. Una vez ajustado el depósito hay que soltarlo medio giro para evitar que el depósito se tranque por la presión. La palanca se suele dejar en esa posición ya que el otro filtro estaba anteriormente en *stand by* y lo hemos puesto ahora en servicio y este nuevo lo dejaremos en *stand by*

- ✓ Etapa de mantenimiento 4: Después de cada período de funcionamiento de 40000 horas o 10 años o en combinación con la reparación grande del motor, se deben reemplaza estos elementos

- Discos de embrague
- Anillos rectangulares, tornillos y resortes del pistón anular
- Juntas tóricas
- Aros de retención
- Todos los tornillos de la carcasa del embrague
- Rodamientos antifricción
- Cojinete de empuje tornillos y muelles
- Sellos de los ejes
- Elementos de filtro de aceite y sellos
- La bomba de aceite acoplada
- Juntas de la cubierta de inspección
- Juntas tóricas para la válvula de control y la válvula limitadora de presión
- Enfriador de aceite

5.4 REVISIÓN DE LA REDUCTORA

A demás del plan de mantenimiento previsto por el fabricante de la reductora, el personal de mantenimiento a bordo revisan otros elementos para llevar un control de la misma, ya que por experiencia saben que si algo va mal en la reductora también se puede detectar de esta manera. Algunos de estos trabajos se hacen semanalmente y otros se realizan en periodos de dos semanas. El personal a bordo del buque consideran estas revisiones son importantes y necesarias para la seguridad, ya que gracias a estas revisiones se han llegado a solventar posible averías.

5.4.1 TAPAS DE REGISTRO

La reductora tiene tres tapas de registros colocadas en tres puntos diferentes donde se pueden observar el dentado de los distintos engranajes. Es necesario poder ver el estado de los engranajes ya que se pueden detectar marcas en el dentado o alguna imperfección como pueda ser “*pitting*”. El *pitting* se debe principalmente a la fatiga del material; se produce por el rodamiento continuo y del rozamiento de los dientes de los engranajes deforma y producen microfisuras en la superficie de los dientes o debajo de los mismos; dichas grietas se ensanchan progresivamente hasta que unos pequeños trozos de material se desprenden y dejan sobre la superficie una pequeña cavidad.

Por lo que es muy importante controlar que el dentado de los engranajes este en buen estado y llevar un seguimiento de ellos. Es muy fácil de mirar ya que solo basta con quitar los tornillos que sujetan las tapas.

Hay que tener mucho cuidado que no se caiga nada cuando estemos haciendo la revisión ya que tenemos que tener en cuenta que la reductora está cerrada y que cualquier

pequeño elemento que se caiga dentro cuando la reductora se ponga en funcionamiento puede ocasionar grandes daños.

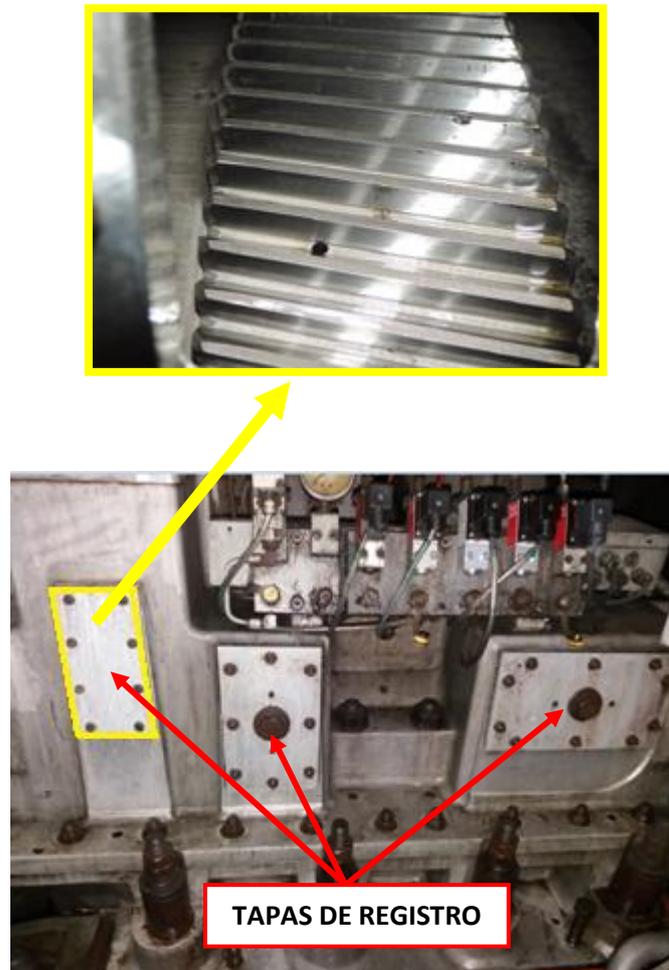


Ilustración n°37. Tapas de registro

Fuente [4]

5.4.2 UNIÓN CON LA BANCADA

La reductora se fija a la estructura por medio de dos apoyos situados en ambos laterales de la reductora. Disponen de un lado fijo, con pernos de ajuste y un lado de expansión, con cuatro pernos de ajuste flexible. El lado de expansión está diseñado de tal manera que la expansión térmica de la reductora en direcciones horizontales pueda compensarse. También tenemos que tener en cuenta que la reductora lleva un cojinete de empuje que absorbe y soporta los esfuerzos de la acción del impulsor.

La reductora está fijada en la base del lado del eje de salida, a través del apoyo con la ayuda de tornillos de ajuste y de pernos. El lado de expansión está fijada por pernos de montaje flexible que unen el apoyo de la reductora con la estructura del barco y entre estos dos elementos se encuentran unas placas deslizantes que se colocan en el reborde del asiento

de la resina fundida, de tal manera que el apoyo de la reductora puede deslizarse sobre la placa deslizante.

Los pernos de ajuste flexible están formados por un paquete de discos flexibles genera una fuerza definida entre el apoyo de la reductora y la placa deslizante. Por lo tanto, no se producirá sobretensión de la carcasa de la reductora como resultado de la tensión causada por la expansión térmica. Esto evita tensión en la carcasa evitando formaciones de grietas y fisuras.

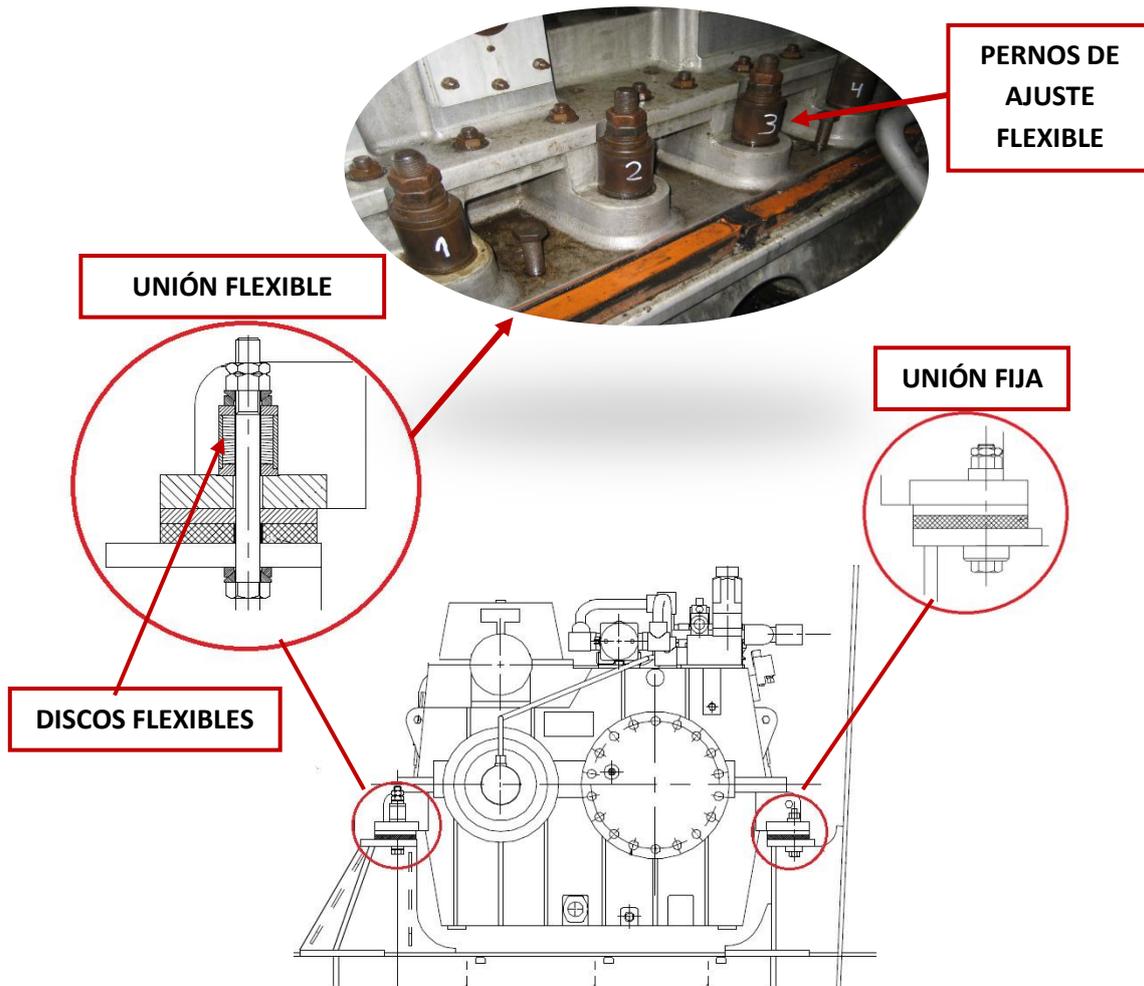


Ilustración nº38. Esquema de la unión con la bancada

Fuente [4 y 6]

Al final los pernos de montaje flexibles también nos sirven como testigos de unión, que se deben medir continuamente ya que tienen unas medidas establecidas. Si sus medidas de una semana a otra varían esto significa que la reductora está sufriendo expansiones térmicas o si su funcionamiento no es óptimo esas vibraciones también hacen que se muevan. A continuación muestro un ejemplo de cómo se toman las medidas a bordo y las partes del perno que hay que medir.

Cada reductora tiene cuatro pernos de ajuste flexibles por lo que para tomar las medidas es necesario enumerar los pernos siempre en el mismo sentido de proa a popa. Se tiene que medir la altura total del perno como se ve en la primera imagen. La cazoleta tiene una medida fija ahí es donde están en su interior los discos flexibles por lo que se mide la altura de la tapa hasta la primera tuerca, que es la segunda imagen. Por último con un juego de galgas hay que tomar la medida entre la cazoleta y la tapa de la misma. Todos estos datos se apuntan y se van comparando para llevar un control.



Ilustración nº39. Comprobación de los pernos de ajuste flexible

Fuente [4]

5.4.3 LA CARCASA DE LA REDUCTORA

La carcasa de la reductora se revisa detenidamente en buscar de grietas que pueden aparecer por un posible mal funcionamiento de los elementos de la reductora o también por fatiga del material de la carcasa. Sobre todo hay puntos donde la estructura sufre más y hay que fijarse bien. Estas zonas son los refuerzos, los apoyos, la entrada y la salida de eje. Para llevar a cabo esta revisión es importante que la reductora este limpia ya que si no se pueden camuflar las imperfecciones.

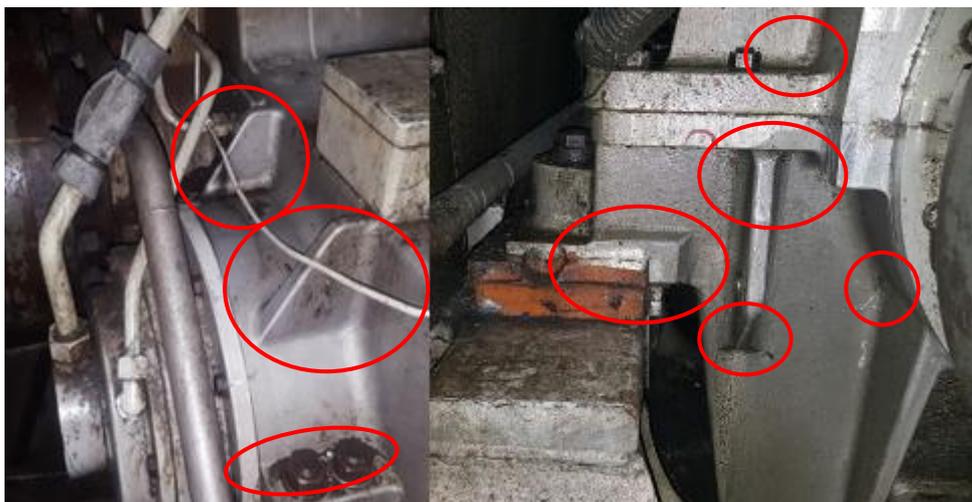


Ilustración nº40. Carcasa de la reductora

Fuente [4]

5.4.4 VULKAN

El *vulkan* es muy importante ya que es la unión entre el motor y la reductora y soporta grande cargas térmicas y fuerzas de tensión. En él se revisan las partes flexibles en busca de grietas y fisuras. Si aparecen nos pueden indicar una mala alineación. En caso de encontrar alguna grieta se suele marcar sobre la superficie y sacarle fotos, ya que esta revisión se hace semanalmente y se puede llevar un control de la grieta o de la fisura.

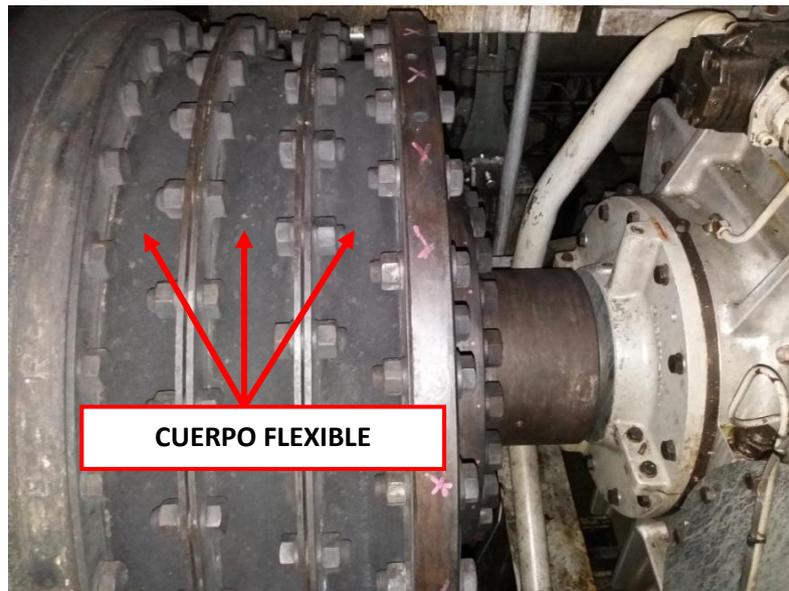


Ilustración nº41. VULKAN

Fuente [4]

5.4.5 PRESOSTATOS

Los presostatos son aparatos que cierra o abre un circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión del fluido. El fluido ejerce una presión sobre un pistón interno hace que se mueva hasta que se unen dos contactos. Cuando la presión baja, un resorte empuja el pistón en sentido contrario y los contactos se separan.

Para ajustar la sensibilidad de disparo del presostato, se hace a través de un tornillo regulador al aplicar más o menos fuerza sobre el pistón a través del resorte. En la reductora se comprueban por seguridad los siguiente presostatos que voy a nombrar a continuación.

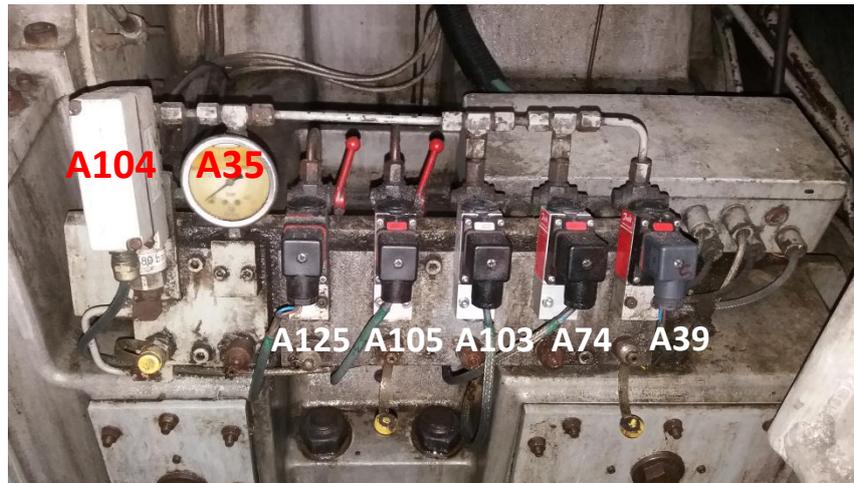


Ilustración nº42. Presostatos (Carcasa de la reductora)

Fuente [4]

-A104 Transmisor de presión, para la indicación remota eléctrica de la presión de funcionamiento del aceite de la reductora 0-40 bar, 4-20mA

-A35 Manómetro que indica la presión de trabajo la bomba acoplada de aceite 0-40 bar.

-A125 Presostato de parada del motor principal por baja presión. Presión menor de 16 bar.

-A105 Presostato de parada bomba eléctrica de aceite. En este caso no hay bomba eléctrica de aceite por lo que este presostato no está en funcionamiento.

-A103 Presostato de presión de aceite de servicio demasiado baja. Presión menor de 17 bar.

-A74 Presostato de presión de embrague. Presión mayor de 17 bar.

-A394 Presión de aceite de lubricación demasiado baja. Presión menor de 0.8 bar.

Normalmente a bordo comprobamos que los presostatos funcionan correctamente y que están calibrados a la presión que indiqué anteriormente, ya que son medidas de seguridad y son muy importantes. Para comprobar que están bien ajustados se hace de la siguiente manera, se le cierra el circuito al presostato a la descarga por lo que queda aislado. Y con el calibrador de presiones se le empieza a suministrar presión. Al quitar el protector al presostato tiene dos contactos donde ponemos las pinzas del tester y lo ponemos en corriente continua o en medida de diodo que emite sonido. Cuando llegas a la presión a la que está calibrado el presostato, el tester emite sonido. Hay que mirar la presión a la que el presostato se ha

activado en el calibrador de presiones y si corresponde con las que nosotros tenemos marcada, está bien si no hay que proceder a ajustarlo.



Ilustración nº43. Comprobación de los presostatos

Fuente [4]

5.5 CASO PRÁCTICO: GRIETA EN LA CARCASA SUPERIOR DE LA REDUCTORA DEL MOTOR PRINCIPAL SIME

Este incidente sucede durante la noche del 5 de junio de 2016. Durante un cambio de aceite de la reductora del SIME se decide realizar la inspección semanal de la misma, realizando la inspección se localizan 2 grietas en los nervios de los refuerzos de la carcasa superior (uno a proa y otro a popa), se procede a limpiar la reductora y sobre todo las zonas en concreto. Se marcan las grietas, se le sacan fotos y se le comunica al jefe de maquinas. Se mantienen en observación ya que esto sucedió de madrugada que es cuando se hace el mantenimiento al barco, por lo que quedaron marcadas para ver lo que sucedía en los viajes a lo largo de ese día. A continuación muestro en la imagen siguiente un esquema señalando donde se localizaron las grietas y fotos de las mismas.

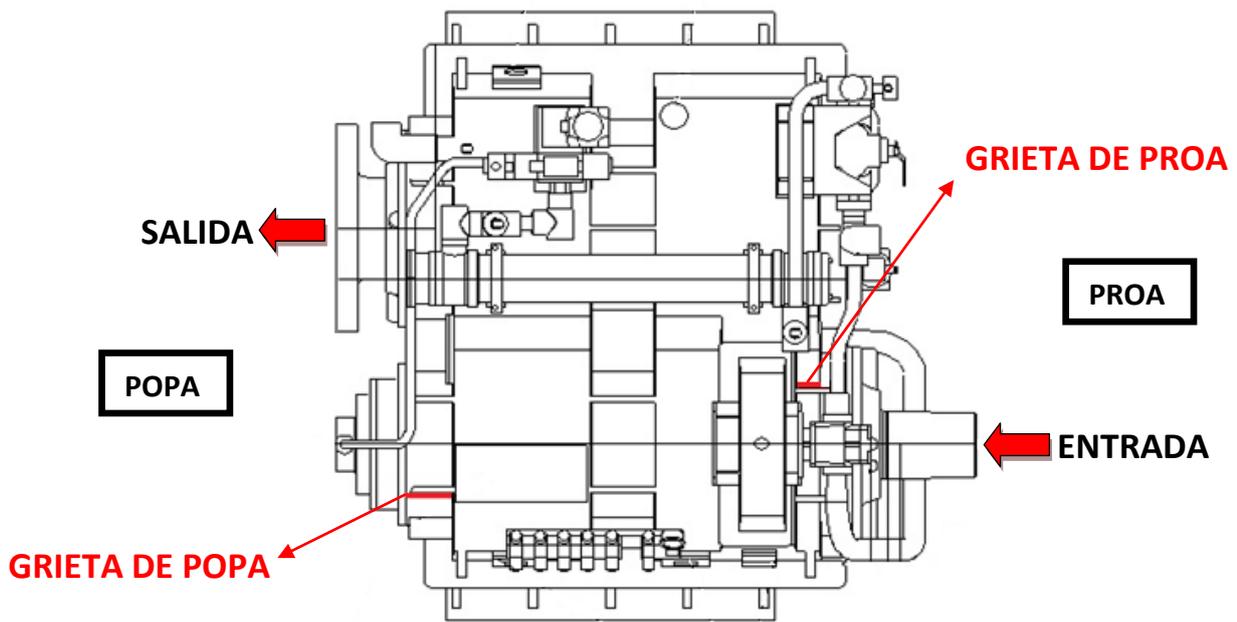


Ilustración nº44. Esquema de la reductora señalando las grietas

Fuente [6]

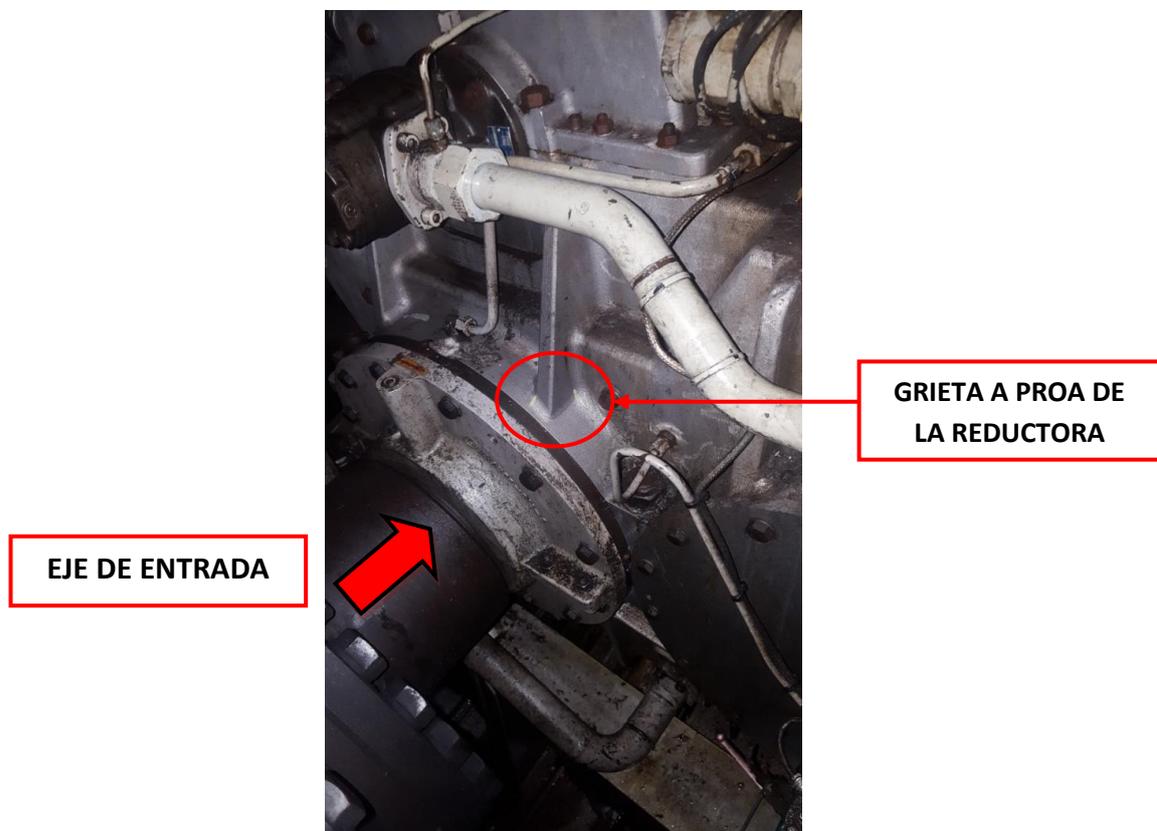


Ilustración nº45. Reductora REINTJES a proa

Fuente [4]

La anterior imagen está tomada de lejos para situar al lector y tome como referencia el eje de entrada, pero en esta imagen se ve más cerca la longitud de la grieta.



Ilustración n°46. Grieta de proa

Fuente [4]

La imagen esta tomada desde lejos para situar al lector y tome como referencia el eje de salida como anteriormente, pero en la siguiente imagen se ve más cerca la longitud de la grieta.

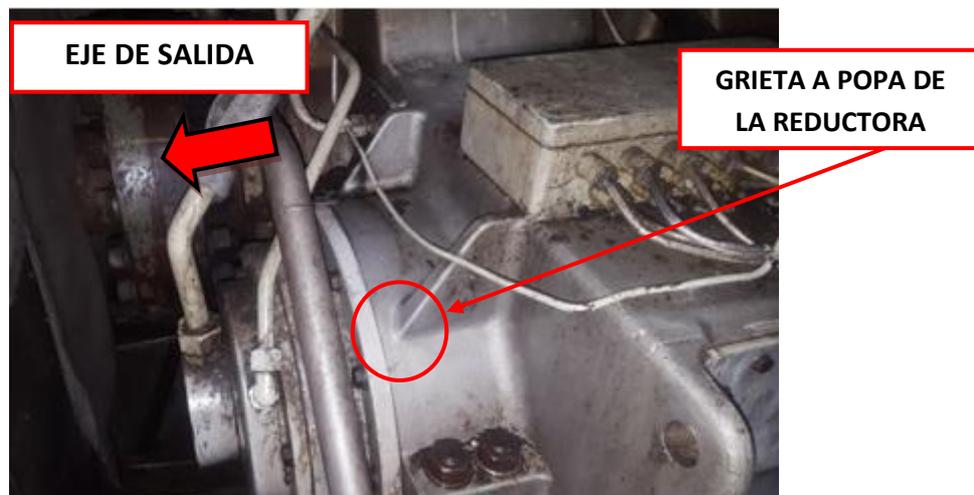


Ilustración n°47. Reductora REINTJES a popa

Fuente [4]



**GRIETA A POPA DE
LA REDUCTORA**

Ilustración nº48. Grieta de popa

Fuente [4]

En el último viaje en el muelle de La Luz de Las Palmas de Gran Canaria, se realiza una inspección antes de volver a salir el barco hacia Fuerteventura y se aprecia que la grieta de proa ha aumentado aproximadamente 2 cm. El aumento de produjo en el trayecto de Morrojable, Fuerteventura a Las Palmas de Gran Canaria. Esto aparece después de 7 horas de funcionamiento desde que se marco la grieta de madrugada



Ilustración nº49. Grieta a proa de la reductora

Fuente [4]

5.6 COMPROBACIÓN DE LA GRIETA POR PARTE DEL PERSONAL DEL BUQUE. DESCRIPCIÓN PRÁCTICA

Esa misma noche, cuando llega el barco al puerto de Morrojable y se comienza con el mantenimiento del mismo, el jefe de maquinas y el jefe de mantenimiento creen que es conveniente empezar hacer comprobaciones para ver cuál puede ser el motivo de la grieta y si es superficial o no. Todo ello se tiene que hacer con coherencia ya que en principio es una grieta en la carcasa, la temperatura de la reductora no ha subido, todos sus niveles están bien y el barco por la mañana tiene que salir a navegar. Por estos motivos, se decide hacer la prueba de los líquidos penetrantes ya que es un ensayo no destructivo y muy fácil de hacer. También decidieron mirar los análisis de aceite por si en algún momento no se habían dado cuenta de algún dato o lo habían pasado por alto.

5.6.1 ENSAYO DE LÍQUIDOS PENETRANTES

El ensayo por líquidos penetrantes es un método de ensayo no destructivo que permite la determinación de discontinuidades superficiales en materiales sólidos no porosos. El procedimiento está limitado a discontinuidades que se encuentren abiertas a la superficie, es muy útil para detectar posibles fisuras y cavidades causadas por fatiga del material. El procedimiento se basa en la aplicación de un líquido de color sobre la superficie limpia de la pieza y este penetra en las discontinuidades de la superficie, de forma que, al limpiar el exceso de líquido de la superficie, quede solamente el líquido introducido en las discontinuidades. Al salir posteriormente ese líquido, ayudado normalmente por la acción de un agente denominado revelador, señala sobre la superficie las zonas en las que existen discontinuidades. El ensayo lo hemos llevado a cabo mediante la utilización de 3 productos: “CRICK 110” (limpiador), “CRICK 120” (penetrante) y “CRICK 130” (revelador). El ensayo se realiza siguiendo los siguientes pasos:

1. Preparación y limpieza de la superficie a ensayar.

Antes de aplicar el líquido penetrante se debe eliminar de la superficie cualquier elemento contaminante que puede dificultar, o incluso interferir en la penetración del líquido penetrante. La presencia en la superficie de agua y aceites dificultan la penetración, podría incluso reaccionar químicamente con el penetrante, o absorberlo produciendo indicaciones falsas. Para una limpieza eficaz hemos usado “CRICK 110”.

2. Aplicación del líquido penetrante.

Una vez la pieza está limpia y seca se aplica el líquido penetrante “CRICK 120” formando una película fina y uniforme sobre la superficie. El líquido penetrante que hemos usado es coloreado, contiene pigmentos que son visibles con luz natural, en concreto es de color rojo. Es muy importante establecer el tiempo que debe permanecer el penetrante sobre la superficie a inspeccionar, que será el necesario para que el líquido penetrante se filtre por una grieta, por pequeña que sea. A este tiempo se le denomina, tiempo de penetración y el fabricante recomienda que oscile entre 10 y 20 minutos. En este caso hemos esperado 20 minutos ya que no sabíamos la profundidad de la grieta y hemos considerado que era un tiempo razonable para que penetrara.

3. Eliminación del exceso de penetrante de la superficie.

Una vez transcurrido el tiempo de penetración es necesario eliminar el exceso de penetrante para tener la seguridad de que no se formen indicaciones falsas pero de forma que no se extraiga el penetrante introducido en los defectos. Para eliminar el exceso de líquido penetrante hemos pasado un trapo sin hilos por la superficie. Tuvimos mucho cuidado para eliminar solo el penetrante en exceso de la superficie.

4. Aplicación del revelador.

Agitar bien el aerosol de “CRICK 130” antes de usar. Desde una distancia aproximadamente de 20 cm, aplicar una capa de revelador fina y homogénea. Evitar cualquier exceso de revelador para evitar la disimulación de las fisuras más finas. Dejar actuar durante al menos 7 minutos hasta que se visualicen las imperfecciones.

5. Inspección para interpretación y evaluación de las indicaciones.

En la fase de inspección para la observación de las indicaciones, que son los resultados que se obtienen del ensayo, sólo se requiere una buena iluminación ya que se uso un penetrante que es visible a la luz natural. Los defectos aparecen como manchas o líneas rojas sobre un fondo blanco. La velocidad de la aparición, la forma y dimensiones pueden informarnos sobre la naturaleza de los defectos. En nuestro caso ha revelado una línea roja que hemos interpretado como una posible grieta ya que antes de hacer el ensayo habíamos descartado que fuera una imperfección de fundición de la carcasa de la reductora. Para finalizar volvemos a limpiar la superficie con un trapo y con agua hasta que se eliminaron tanto el penetrante como el revelador para dejar la superficie en su estado anterior.



Ilustración nº50. Material para el ensayo de líquidos penetrantes

Fuente [13]

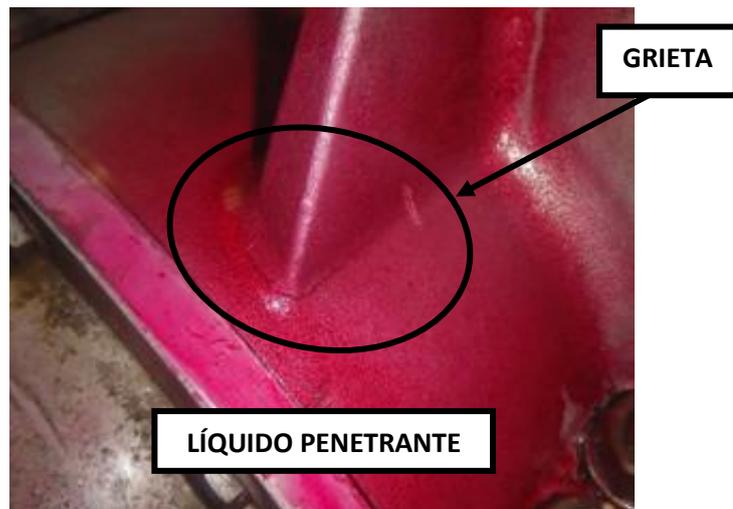


Ilustración n°51. Prueba con líquido penetrante

Fuente [4]

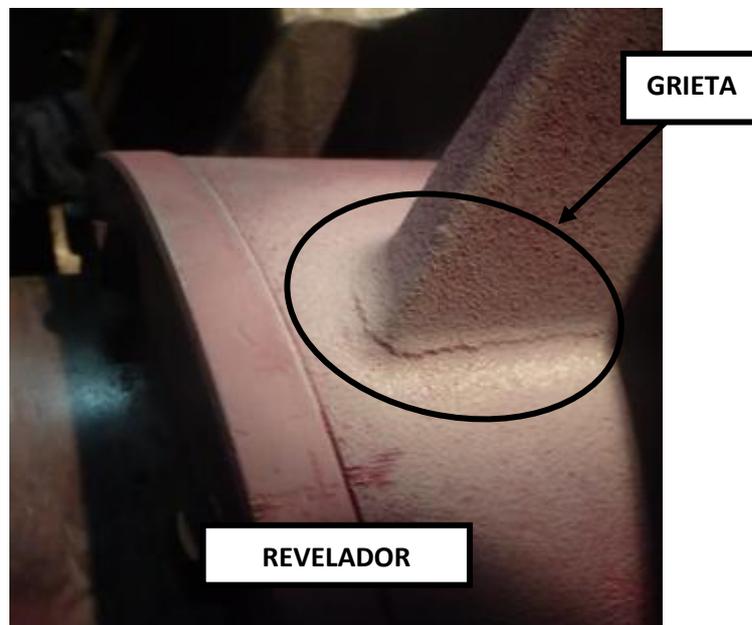


Ilustración n°52. Prueba con el revelador

Fuente [4]

5.6.2 PULIMIENTO DE LA SUPERFICIE

Bajo el criterio del personal a bordo la grieta no era muy profunda, parecía una grieta superficial y se toma la decisión de pulir la superficie con una fresa y esperar al día siguiente para comprobar si volvía aparecer si volvía aparecer.



Ilustración nº53. Superficie pulida

Fuente [4]

5.6.3 VERIFICACIÓN DEL ANÁLISIS DE ACEITE

A bordo del barco no se realizan análisis de aceite para comprobar su estado, pero el distribuidor que tiene el barco de lubricantes les presta este servicio que se trata de un programa de mantenimiento predictivo de los equipos a través del análisis del aceite. En este caso el primero oficial de máquinas toma mensualmente una muestra de aceite de los equipos importantes como los motores principales, del sistema hidráulico y también de la reductora.

Se vio conveniente buscar los últimos análisis de aceite que se encuentran a bordo para comprobar si en ellos se detectaba anomalías mecánicas en los elementos implicados en la transmisión, que supondría un mal funcionamiento de la reductora y que por ese motivo pudiera haber salido la grieta ya que conociendo el estado del lubricante nos podemos anticipar a los fallos mecánicos. En el se veía que todos los parámetros estaban bien pero había un comentario que ponía que habían partículas por lo que podía ser que los engranajes tuvieran desgastes, aunque la cantidad de partículas tampoco era muy significativa.

“ESTUDIO, DIAGNOSTICO Y PROTOCOLO DE REPARACIÓN DE UNA REDUCTORA REINTJES.
BUQUE BONANZA EXPRESS”



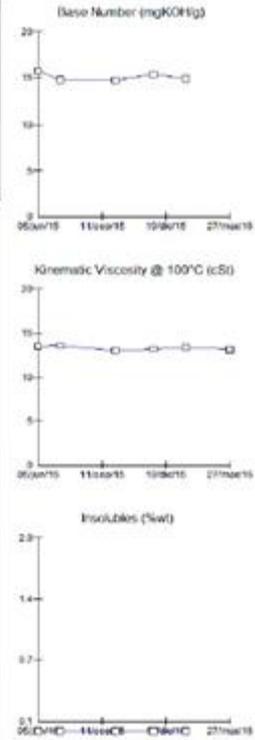
CAREMAX™ OIL MONITOR

MACHINE UNIT/LOCATION
GEARING, MAIN ENGINE/SI

mv/ss BONANZA EXPRESS

IMO	9200225	Customer Code	005250Z
Make	REINTJES	Sample Code	GS040869
Model	VLI 6831	Sample Taken	27-mar-2016
Lubricant Schedule	MHP 154	Received	18-abr-2016
Lubricant In Use	MHP 154	Report Date	23-abr-2016
Port Landed		Total Machine Hrs	45154
Sample Point	crankcase	Lubricant Hours	1309
Machine Usage	GEMEZ	Label Ref.	C 10777114

DIAGNOSIS:
The analysis results, based on the tests performed, indicate that the lubricant is suitable for continued use. - Main parameters are in normal values, and there are not evidences of active contaminants. Wear metal contents are acceptable. - NOTE LAB COMMENT: PARTICLES PRESENT - Elemental analysis is provided for trending purposes - take note of any large change in values.



Sample Ref.	27-mar-16 GS040869	19-ene-16 MS003370	30-nov-15 MR006044	02-oct-15 MR005643	09-jul-15 MR004898	05-jun-15 MR004594
Lubricant Hours	1309	875	281	1830	998	693
Rating	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Colour		AMBER	AMBER	AMBER	AMBER	
Condition		CLEAR	CLEAR	CLEAR	CLEAR	
BN (mgKOH/g)		14,92	15,37	14,72	14,76	15,78
Insolubles (%wt)		0	0	0	0	0
Suspended Water	< 0,05	< 0,14	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Flash Point (°C)		> 200	> 200	> 200	> 200	> 200
KV@100°C (cSt)	13,14	13,37	13,19	13,03	13,56	13,51
Elements (ppm)						
Aluminium (Al)	1	1	1	2	2	2
Boron (B)	1					
Chromium (Cr)	0	1	1	1	1	1
Copper (Cu)	2	16	13	12	2	2
Iron (Fe)	5	6	3	7	6	4
Lead (Pb)	0	5	4	3	1	1
Manganese (Mn)	0					
Molybdenum (Mo)	0					
Nickel (Ni)	0	1	1	1	1	1
Silicon (Si)	11	2	6	3	7	12
Silver (Ag)	0					
Sodium (Na)	4	9	8	10	9	6
Tin (Sn)	0					
Titanium (Ti)	0					

KEY: > Greater Than < Less Than * Estimated
 ✓ Normal ! Marginal ✗ Critical

DIAGNOSTICO: Los resultados del análisis, basados en las pruebas realizadas, indican que el lubricante es adecuado para el uso continuado. Los parámetros principales están en valores normales, y no hay evidencias de contaminantes activos. El desgaste de los contenidos metálicos es aceptable. **Comentario del laboratorio: partículas presentes.** El análisis elemental se proporciona para fines de tendencia. Tome nota de cualquier gran cambio en los valores.

Ilustración nº54. Informe del análisis de aceite

Fuente [9]

5.7 VERIFICACIÓN DE LA REDUCTORA POR PARTE DE UN TÉCNICO AUTORIZADO. REVISIÓN EXTERIOR E INTERIOR.

Aprovechando que en Las Palmas de Gran Canaria, concretamente en el astillero de *ASTICAN*, se encontraba otro barco de la compañía en el cual se iban a cambiar partes de una de sus reductoras y el técnico de REINTJES se encontraba allí. El inspector aprovecho para que esa misma noche fuera a Fuerteventura junto con un técnico autorizado para la comprobación de grietas. Durante todo el día no había vuelto a salir la grieta, por lo que era importante comprobar si la carcasa tenia mas grietas que quizás no habíamos visto, grietas internas o esto había sucedido por fatiga del material.

En caso de que el técnico certificara que la carcasa estaba en buenas condiciones, el técnico de REINTJES debía revisar la reductora para comprobar que todo estaba en buen estado

5.7.1 ENSAYO DE LÍQUIDOS PENETRANTES

El técnico volvió a realizar el ensayo de líquidos penetrantes. Los sprays que utilizo era de diferente marca pero el procedimiento a seguir y el resultado es el mismo.



Ilustración nº55. Sprays para la prueba de líquidos penetrantes, marca “ARDROX”

Fuente [4]

El resultado del ensayo fue que al pulirlo había desaparecido la grieta, pero la pregunta ahora es ¿Por qué aparecieron las grietas?

Hay un sin fin de posibilidades: la grieta puede que solo fuera superficial o puede ser interna y que se estuviera prolongado a la superficie. También después de haber visto el análisis de aceite estaba la posibilidad que los engranajes de la reductora estuvieran sufriendo fricción y por eso habían partículas en el aceite. Lo importante era averiguar cuál es la causa.



Ilustración nº56. Líquidos penetrantes después de haberlo pulido

Fuente [4]

5.7.2 PRUEBA DE ULTRASONIDO

Para descartar que la carcasa de la reductora pueda tener grietas internas se va a realizar la prueba de ultrasonido. Para esta prueba es necesario levantar la tapa de la reductora dicho proceso está en el apartado “5.9 Desmontaje de la reductora”.

Este sistema tiene sus orígenes en los ensayos de percusión, en los cuales los materiales eran golpeados con un martillo y se escuchaba cuidadosamente el sonido que la pieza examinada emitía.

Las ondas ultrasónicas son aquellas ondas de sonido de frecuencia superior a 20 KHz, la escala de sonido audible está comprendida entre aproximadamente 16 KHz a 20 KHz. Estas ondas son mecánicas lo que implica que están compuestas por oscilaciones de pequeñas partículas del material.

Es uno de los ensayos no destructivos más empleados debido a su fácil manejo, no exige grandes requisitos de Hardware y Software y la inspección se produce in situ. Las ondas ultrasónicas se reflejan en zonas de transición, es decir, cuando aparece un cambio brusco de la impedancia acústica Z. La diferencia de impedancia en superficies límite acero-aire es muy alta, este es el caso que se da en los defectos como grietas.

Para calcular las presiones del sonido de la onda sonora reflejada y de la transmitida se requiere la impedancia acústica Z de los materiales. La impedancia acústica Z del material se define como el producto de su velocidad de sonido v y su densidad ρ . [14]

$$Z = \rho \cdot v = \frac{gr}{cm^3} \times \frac{cm}{seg}$$

Fuente [14]

Donde:

Z, es la impedancia acústica.

ρ , la densidad del material.

v , la velocidad del sonido.

El dispositivo que el técnico va a utilizar, es un dispositivo de ultrasonido de método pulso - eco, es decir, que el emisor y el receptor están en el mismo elemento. Se detectan discontinuidades en superficies, por medio de técnicas de pulsos y ecos.

Se utiliza a través de un transductor de mano (palpador) que es colocado sobre la muestra. Los transductores son dispositivos en los cuales se produce la emisión y recepción de los ultrasonidos. En su interior tienen un cristal piezoeléctrico que al ser excitado eléctricamente comienza a vibrar generando así ultrasonidos con su frecuencia característica. También es receptor, cuando el cristal contenido en el transductor es excitado por ultrasonidos genera señales eléctricas.

Cualquier sonido del pulso que se refleja y vuelve al transductor (como un eco) se muestra en una pantalla, que da la amplitud del pulso y el tiempo para regresar al transductor. Los defectos que se hallan en cualquier parte del espesor de la muestra reflejan el sonido de nuevo al transductor. Gracias a esto se pueden interpretar defectos como: **Conexión**, la distancia y la reflectividad. Se utiliza un gel de acoplamiento para facilitar el contacto y el deslizamiento del palpador pero también para permitir el paso de las ondas del transductor a la pieza bajo examinación.

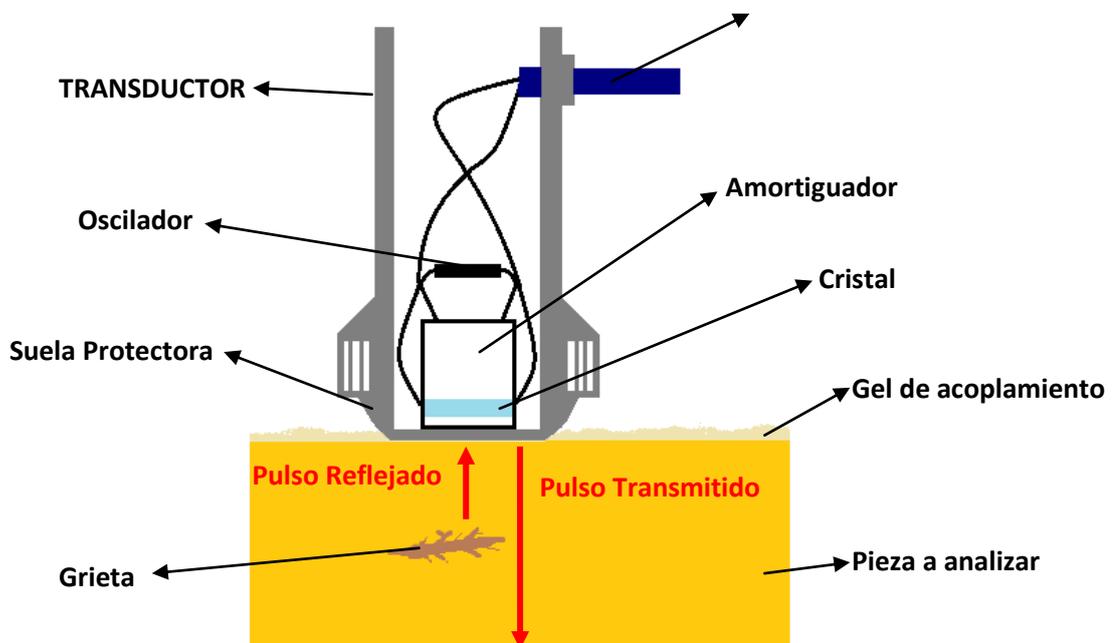


Ilustración n°57. Esquema de un transductor (palpador)

Fuente [10]

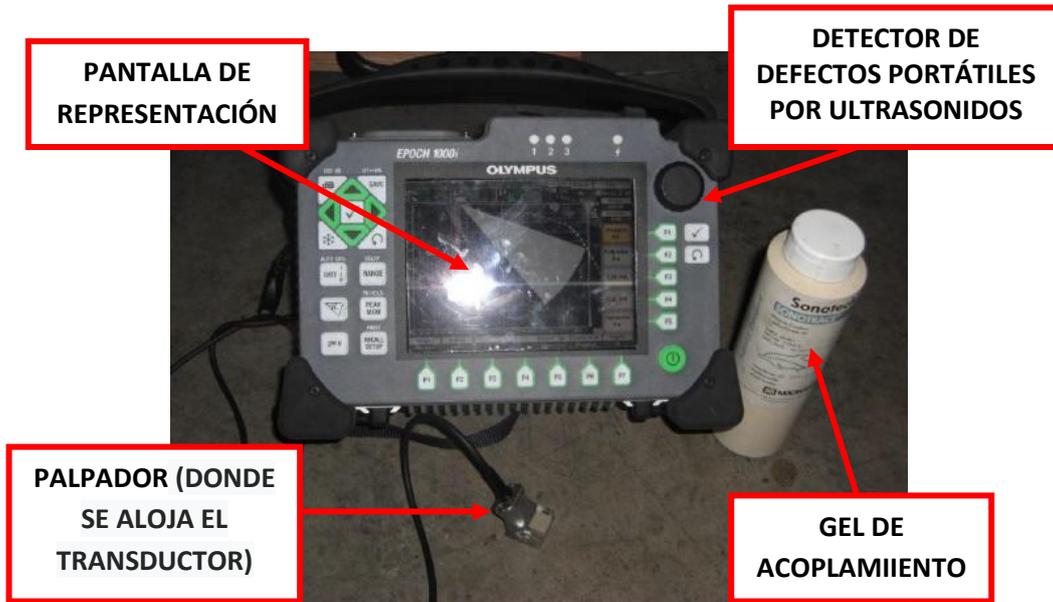


Ilustración n°58. Conjunto del equipo utilizado en la prueba “Olympus Epoch 1000i”

Fuente [4]



Ilustración n°59. Técnico realizando prueba de ultrasonido

Fuente [4]

5.8 ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES INTERNOS DE LA REDUCTORA

Al no encontrar ninguna anomalía en la carcasa de la reductora el técnico de *REINTJES* comienza a inspeccionar los elementos internos de la reductora y se detectan marcas en el dentado de la corona (R 611.00) del eje de salida y en el piñón del eje de entrada (R 101.00).

Se observa que un rodamiento antifricción de apoyo del eje de salida (W626.08) se encuentra desplazado hacia popa del portarodamientos. Esto provoca que el asiento del dentado, no sea el correcto en todo su perímetro.

Se observan marcas en dichos dentados como posible consecuencia de un desplazamiento del eje de salida hacia popa.

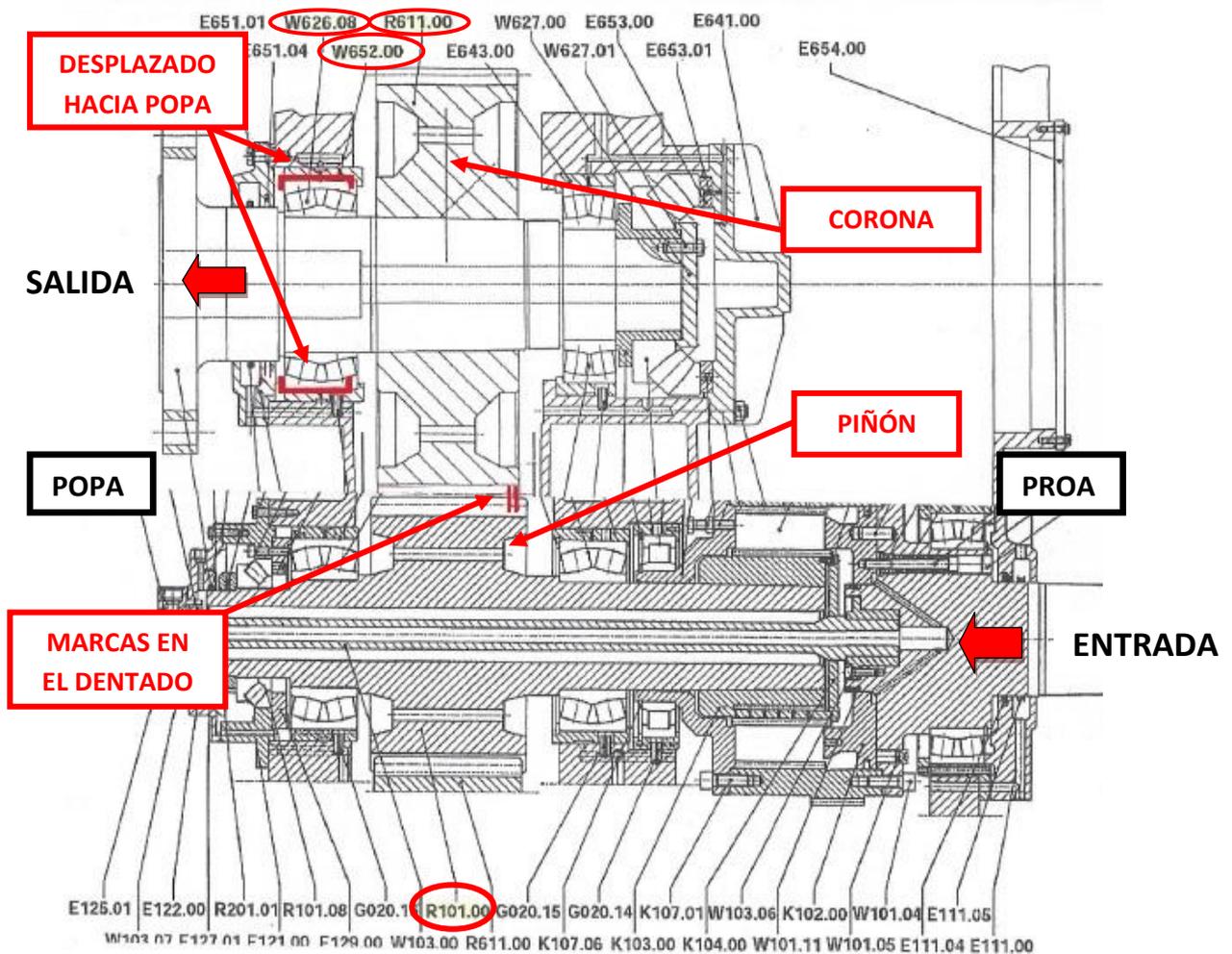


Ilustración nº60. Esquema ejes de la reductora

Fuente [6]

En esta imagen se pueden apreciar las marcas en el dentado tanto de la corona como del piñón. Se ven dos marcas, causadas por trabajar en una posición y cuando se desplazó el eje trabajaron en otra posición un poco más atrasada.



Ilustración nº61. Marcas en la corona y en el piñón

Fuente [4]

En esta imagen se ve como el rodamiento se ha desplazado axialmente de su portarodamiento. Se observa un desgaste en este portarodamiento en la zona inferior interna, produciendo una rotación del rodamiento en el portarodamiento. Estos motivos son suficientes para que el inspector determine sacar los ejes de la reductora para que se los lleven al taller y los reparen.



Ilustración nº62. Rodamiento desplazado

Fuente [4]

5.9 DESMONTAJE DE LA REDUCTORA

El inspector decide sacar los ejes ya que pueden estar dañados y prefiere llevarlos al taller y que el técnico los inspeccione bien ya que a bordo es imposible debido a que por la mañana el barco tiene que cumplir con los viajes programados. En principio el rodamiento desplazado hay que cambiarlo y en el taller se hará una evaluación completa del estado de los ejes y sus elementos.

5.9.1 DESMONTAJE DEL EJE DE SALIDA DE LA PTO Y BOMBA ACOPLADA DE ACEITE

Para poder levantar la tapa de la reductora se procede a desmontar todos los elementos del sistema hidráulico de la reductora, el enfriador, los filtros, las válvulas, la bomba de aceite acoplada, etc. A continuación se comienza con el desmontaje del sistema de engranajes que transmiten el movimiento a la PTO. Este proceso se hizo con anterioridad, para que el técnico pudiera levantar la carcasa de la reductora para poder realizar la prueba de ultrasonido y posteriormente la revisión de los ejes.

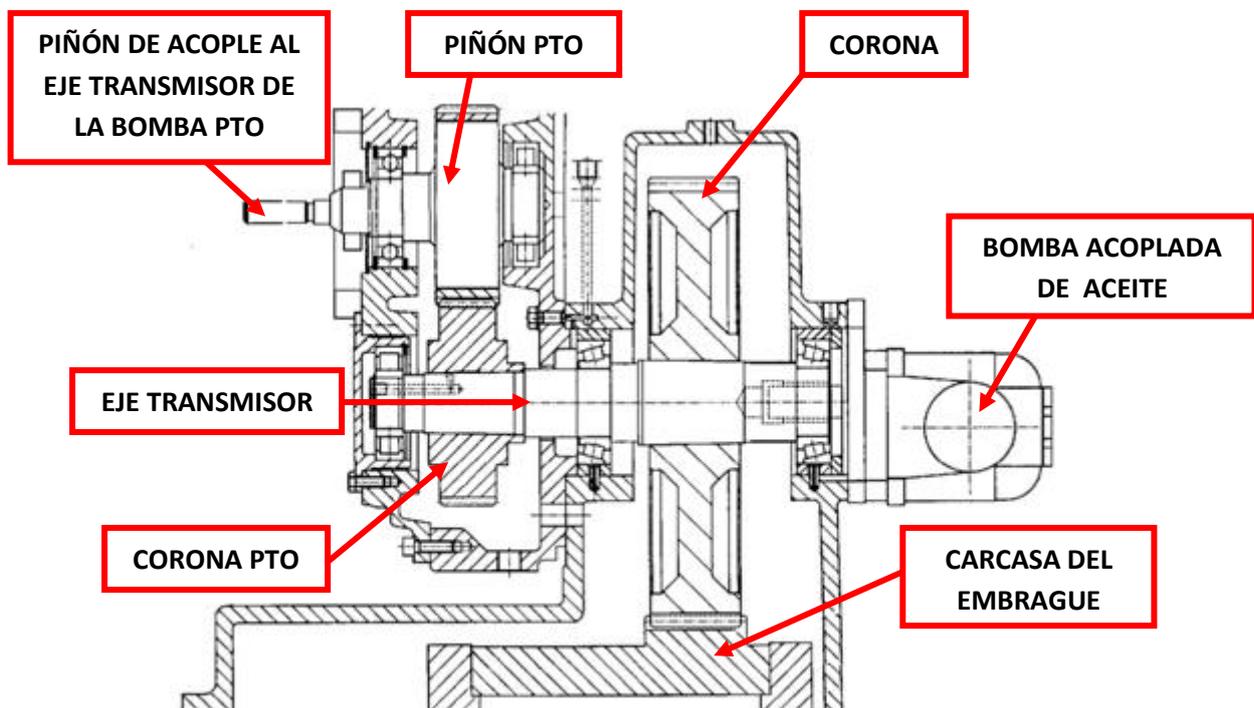


Ilustración nº63. Esquema del sistema de engranajes de la PTO y la bomba acoplada de aceite

Fuente [6]

En esta imagen se ve con claridad como el eje impulsor transmite el movimiento a la corona y este engrana con el piñón transmitiéndole el movimiento al eje de la PTO. Hay otro espacio libre donde se podría acoplar otra bomba u otro elemento donde he colocado la “X”. Este espacio está libre ya que no hay nada más acoplado.

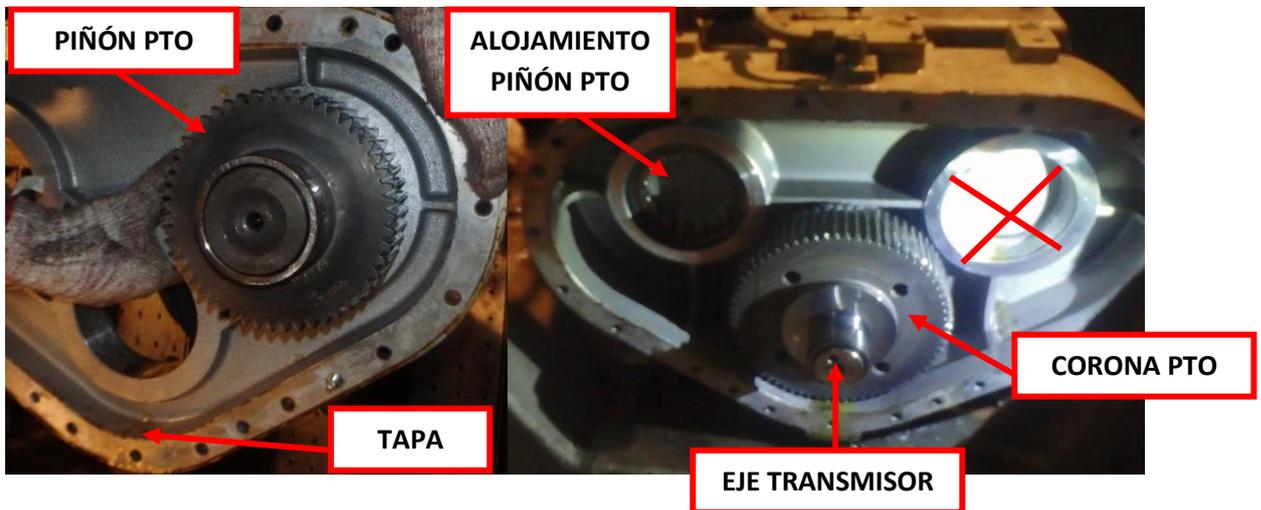


Ilustración n°64. Sistema de engranajes eje PTO

Fuente [4]

La corona principal en este sistema de engranajes es la encargada de transmitir el movimiento al eje transmisor. Está engranada directamente con el eje de entrada de la reductora, concretamente con la carcasa del embrague donde más adelante veremos que tiene una parte dentada. También se ve el alojamiento del eje motriz de la bomba acoplada de aceite.



Ilustración n°65. Corona principal del sistema de engranajes de la PTO

Fuente [4]

5.9.2 IZADO DE LA TAPA Y DESACOPLE CON EL EJE DEL IMPULSOR

Se procede a levantar la tapa y se hace firme con tecles y eslingas al mamparo. Se tapan bien los ejes con un plástico ya que esa noche no va a dar tiempo de sacar los ejes. Hay que dejar todo bien sujeto por seguridad durante la navegación debido a que el barco tiene que salir a navegar por la mañana. Se deja todo preparado para que la siguiente noche se saquen los ejes y se lleven al taller.



Ilustración nº66. Izado de la tapa de la reductora

Fuente [4]

Se desacopla el eje impulsor del eje de la reductora ya que por inercia del agua el eje del impulsor puede girar. Además por precaución se bloquea el eje con unos frenos mecánicos. Se trata de un acople que se le pone en la brida emperrada que tiene una pata que hace de tope con la estructura del barco. Se coloca uno a cada banda del eje, por lo que el eje queda bloqueado y no permite el giro del mismo.



Ilustración nº67. Desacople del eje del intermedio y el eje de la reductora

Fuente [4]

5.9.3 DESMONTAJE DE LOS EJES DE LA REDUCTORA

Se sacan ambos ejes del barco y se llevan a las instalaciones de *FEROHER* (taller encargado del trabajo) para comenzar con la evaluación para ver el alcance de los daños. Se comienza con los trabajos de desmontaje de ambos ejes ya que en principio los rodamientos se van a cambiar. Se empieza por el eje de salida ya que en principio parece que es el más dañado que esta.

La siguiente imagen es un plano de ambos ejes donde a modo de esquema he nombrado los distintos elementos que hay en cada eje para posteriormente explicarlos uno a uno.

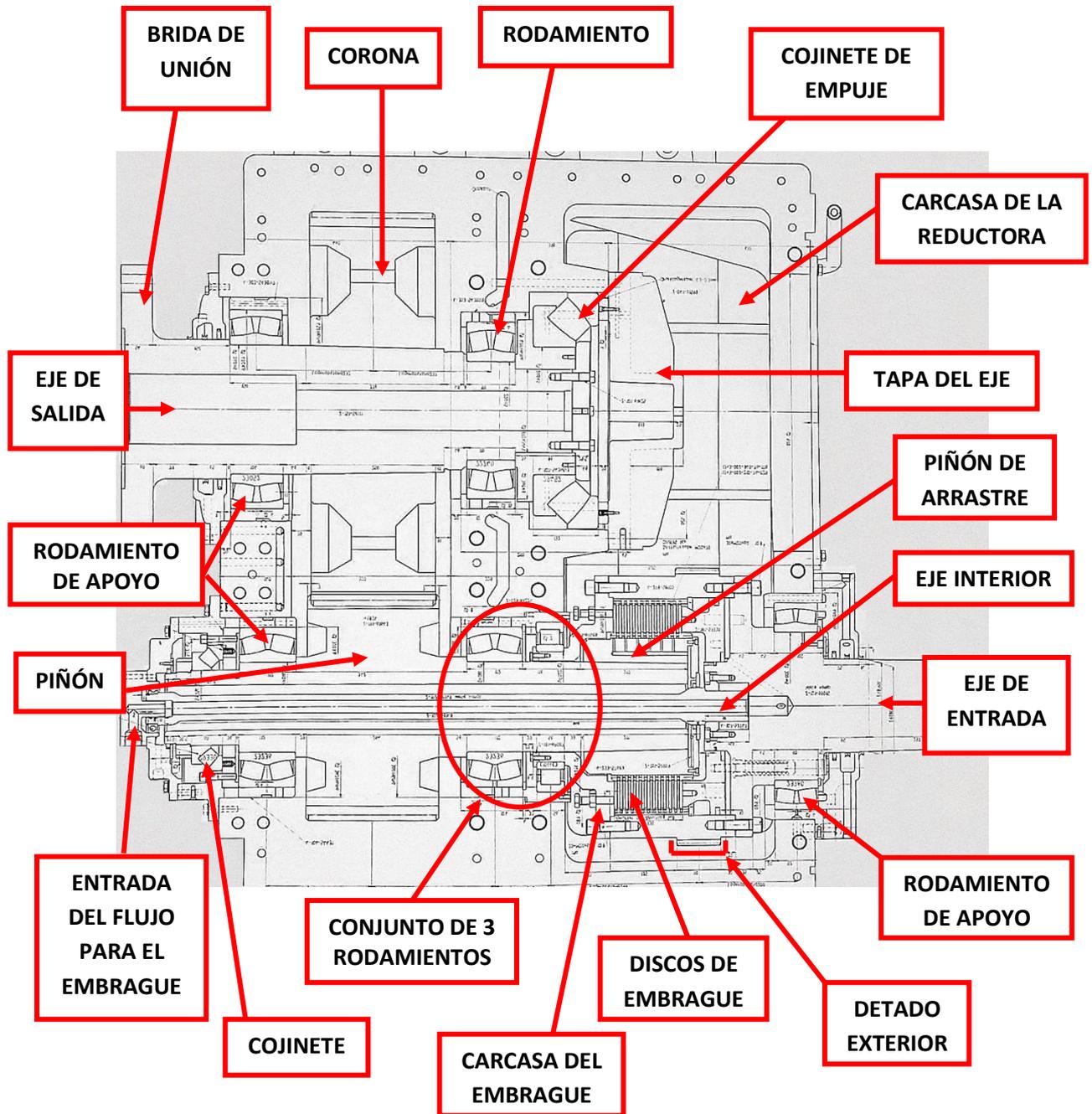


Ilustración n°68. Plano del eje de entrada y de salida de la reductora

Fuente [6]

5.9.4 DESMONTAJE DEL EJE SECUNDARIO O EJE DE SALIDA

En principio se van a cambiar los elementos que están en verde que son rodamientos antifricción de apoyo y el cojinete de empuje, más adelante veremos cómo nos damos cuenta que hay más elementos dañados y que se tendrán que cambiar.

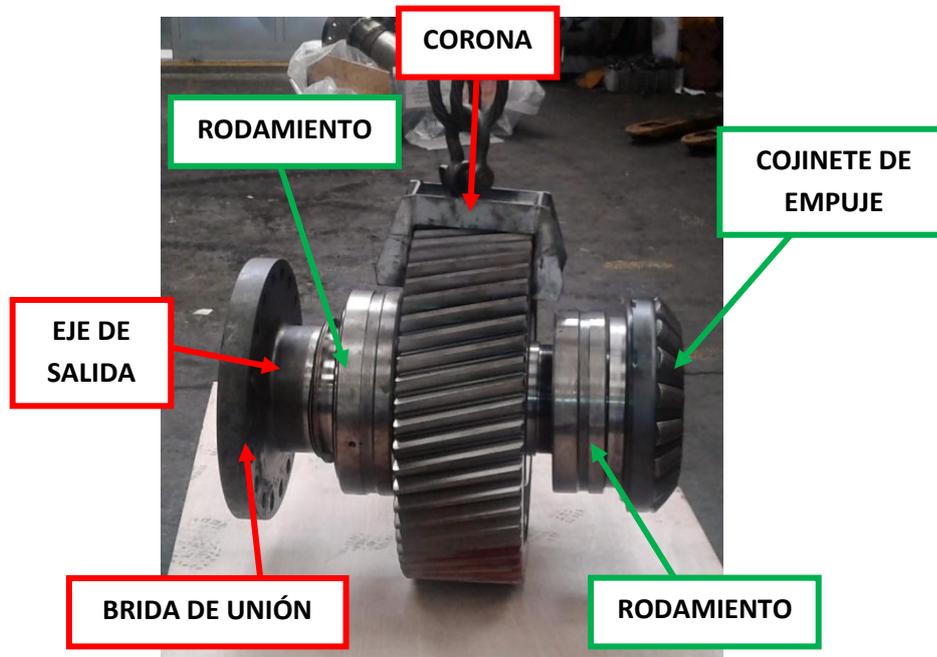


Ilustración n°69. Eje secundario o eje de salida

Fuente [4]

Se comienza quitando el cojinete de empuje que es uno de los más importantes en el eje de salida ya que es el que absorbe el empuje que el impulsor le transmite al eje de salida.

El impulsor es el primer elemento que “empuja” el barco hacia delante y como el eje de salida está firmemente unido al eje del impulsor, la fuerza de empuje que puede llegar a ser de muchas toneladas, es transmitida a la reductora.

El eje del impulsor además de hacer girar el impulsor es por tanto el que propulsa el barco hacia delante. Y esa fuerza de empuje tiene que ser “descargada” al barco en algún elemento mecánico pues en caso contrario el eje acabaría destrozando la reductora de tanto hacer presión y fuerza.

Es el cojinete de empuje el que transmite el “empuje” del impulsor y absorbe pequeños desalineamientos. El cojinete de empuje está formado por un conjunto de rodillos, para que la fuerza sea transmitida desde el eje de giro a la parte exterior del cojinete. En este barco la reductora actúa como “transmisor” de esta fuerza de empuje ya que el barco carece de

cojinete de empuje en la línea de ejes, pues éste está metido directamente en la misma reductora.

Para quitar el cojinete de empuje primero hay que quitar la tapa de retención del eje que está fijada por seis tornillos. Al quitar la tapa quedan a la vista los orificios de los seis tornillos pero hay dos orificios más en el eje que son los conductos de aceite. Son cavidades a lo largo de todo el eje, se conectan con otros conductos y ranuras que están en la superficie de alojamiento de los elementos del eje.

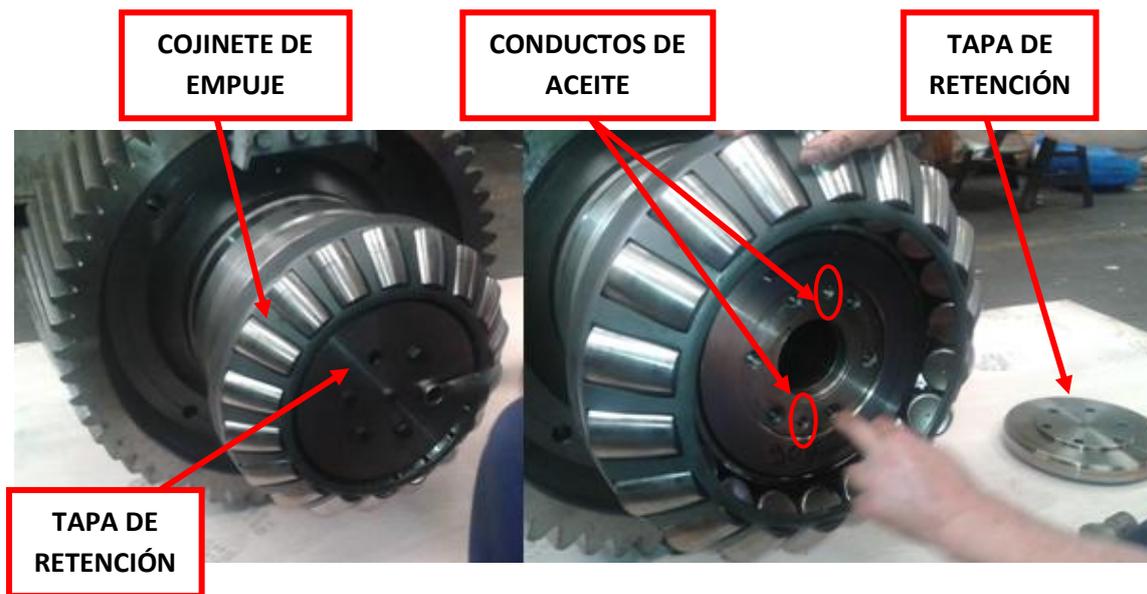


Ilustración n°70. Cojinete de empuje

Fuente [4]

Para poder extraer el cojinete de empuje se hace por presión hidráulica. La presión requerida se obtiene mediante un inyector de aceite de accionamiento manual que inyecta el aceite entre las superficies de contacto a través de conductos y ranuras de distribución situadas en el eje. En uno de los conductos de aceite, que antes hemos nombrado se coloca un racor para conectar el tubo de alta presión del inyector.

Al utilizar el método de inyección de aceite, se introduce aceite a alta presión entre el rodamiento y su asiento para formar una película de aceite. Esta película de aceite separa las superficies de contacto y reduce apreciablemente la fricción entre las mismas. Este es un método versátil, el aceite inyectado puede reducir las fuerzas de extracción requeridas hasta un 90%. Por consiguiente, se reduce significativamente el esfuerzo físico requerido al utilizar un extractor para extraer un rodamiento de su asiento.

El rodamiento es sujetado por dos cáncamos, con dos grilletes y una eslinga para sujetarlo con el puente grúa que hay en el taller para que cuando le inyectemos el aceite tirar y poder despegarlo uniformemente del eje.

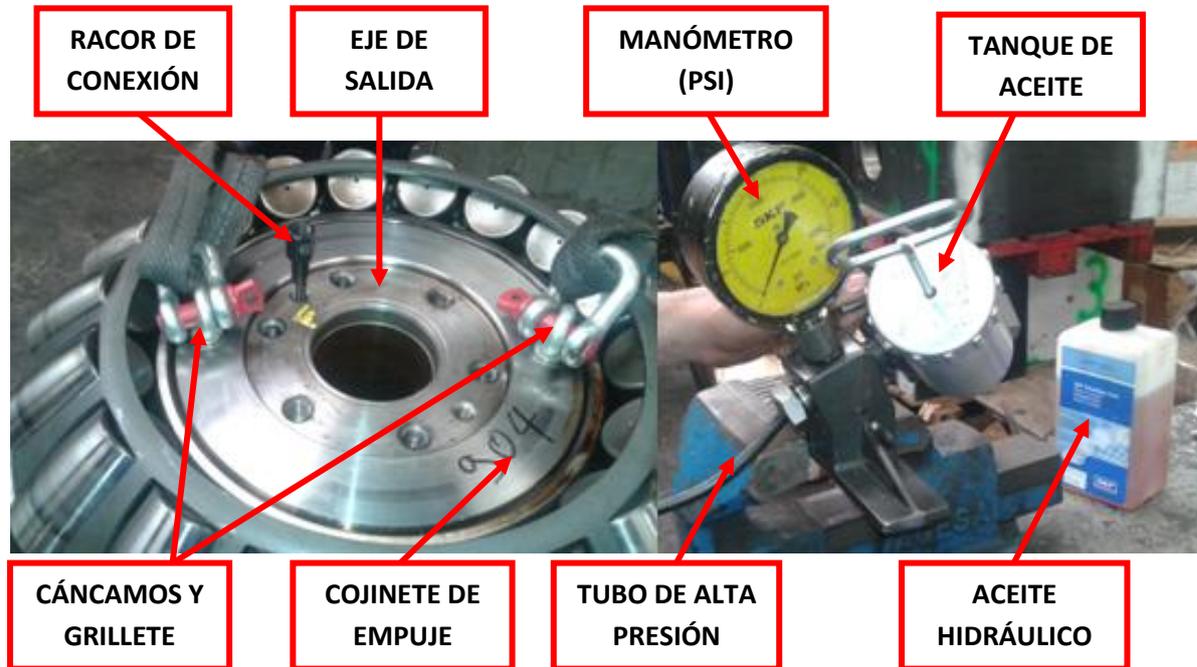


Ilustración nº71. Extracción del cojinete de empuje e inyector de aceite

Fuente [4]



Ilustración nº72. Despegue del cojinete de empuje

Fuente [4 y 7]

El siguiente es un rodamiento antifricción de apoyo a la bancada de la reductora. Este rodamiento se despega con el mismo método que el anterior. Una vez se saca el rodamiento se ve claramente que hay marcas de fricción en el eje por lo que se comprueba que presenta desgaste en la zona de alojamiento del rodamiento.



Ilustración nº73. Despegue del rodamiento

Fuente [4]

Antes de quitar la corona del eje es necesario medir la distancia desde el comienzo del eje hasta la corona y se anota la medida para al volver a montarlo y calarlo, dejarlo en la posición adecuada. Para que la corona despegue se vuelve a repetir el procedimiento anterior.



Ilustración nº74. Despegue de la corona

Fuente [4]

En esta imagen se ve claramente el conducto de aceite y las ranuras de distribución en la corona lo que facilita que se forme la película de aceite al rededor de toda la superficie entre la corona y el eje para poder facilitar su extracción.



Ilustración nº75. Cara interior de la corona

Fuente [4]

Se procede a quitar el último rodamiento que queda, es como el anterior a la corona, un rodamiento de apoyo antifricción y su despegue se produce siguiendo el mismo procedimiento que el anterior.

De esta manera queda el eje libre y se puede tomar medidas para comprobar si ha sufrido desgaste y si esta dentro o fuera de tolerancia. Se toman las medidas en diferentes puntos a lo largo del eje. Se marca el eje y se toma como referencia el punto A y punto B por lo que se toma la medida en los dos puntos a la misma altura y esta secuencia se repite en los mismos puntos tomados a dos alturas diferentes. Las medidas se toman con un micrómetro de exteriores, cuya exactitud de medida debe controlarse mediante contraste.

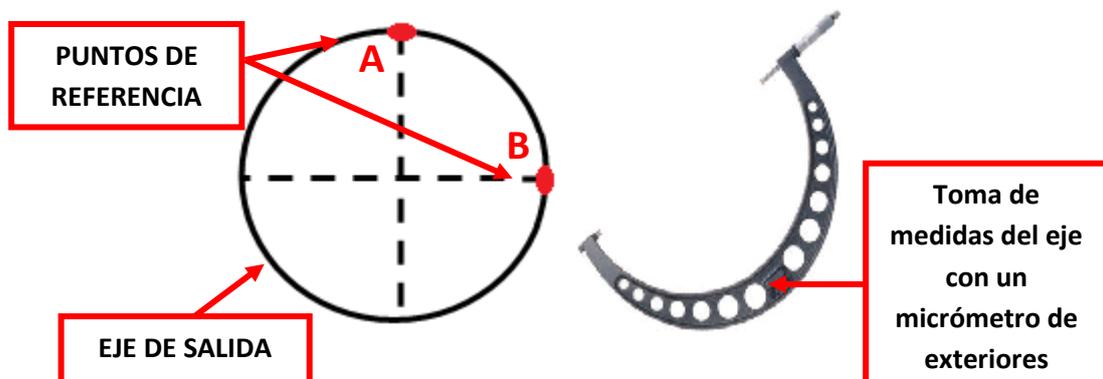


Ilustración nº76. Micrómetro de exteriores

Fuente [10 y 15]

Las medidas tomadas del que estaba montado en la reductora se comparan con un eje nuevo y se comprueba que el eje que estaba montado había sufrido desgaste. Las medidas del eje de salida presentan una medida inferior a su tolerancia en 0,04 mm en la superficie de apoyo del rodamiento de apoyo que se había desplazado y 0,06 mm en la zona de apoyo. Tras comunicarlo el técnico de *REINTJES* al inspector de *FRED OLSEN EXPRESS* se decide montar el eje nuevo. Esta holgura en el eje de salida demuestra que ha sufrido fricción entre el eje y los distintos elementos.



Ilustración nº77. Ejes de salida (nuevo y antiguo)

Fuente [4]

EJE SECUNDARIO NUEVO		EJE SECUNDARIO ANTIGUO	
A ₁ =260,04mm	B ₁ =260,04mm	A ₁ =260,04mm	B ₁ =260,03mm
A ₂ =260,04mm	B ₂ =260,04mm	A ₂ =260,02mm	B ₂ =260,02mm
A ₃ =260,04mm	B ₃ =260,04mm	A ₃ =260,01mm	B ₃ =260,01mm

Fuente [4]

Teniendo ya preparado el eje nuevo vamos a proceder a montar los elementos que lo forman. Los elementos que se van a cambiar por otros nuevos son los rodamientos y el cojinete de empuje, los dientes de la corona se han pulido quitándole el marcado que tenía y se vuelve a montar ya que esta dentro de tolerancia y no tiene ningún diente dañado.

Para colocar los rodamientos en el eje se utiliza un calentador de inducción para que el rodamiento dilate y se pueda introducir en el eje y cuando se enfríe y el material se contraiga quede firmemente ajustado al eje. Los fallos prematuros en los rodamientos se deben al uso de técnicas inadecuadas de montaje por eso este proceso es muy importante.

Para reducir el riesgo de montar incorrectamente los rodamientos se utiliza el calentador de inducción portátil. El diseño que tienen lo hace fácil de usar y seguro. Los brazos de apoyo reducen el riesgo de que el rodamiento se vuelque durante el calentamiento y permiten el calentamiento de rodamientos con mayores diámetros. Una dilatación suficiente de los rodamientos se consigue con una temperatura de 80°C hasta 100°C. El calentamiento de los rodamientos ha de ser controlado ya que en ningún caso la temperatura puede superar los 120°C porque puede existir el peligro de que la estructura de la pieza del rodamiento se altere, la dureza disminuya y las dimensiones varíen. Con el calentador no existe este problema ya que tiene la sonda de temperatura magnética, junto con el modo de temperatura establecido que ayuda a prevenir el sobrecalentamiento de los rodamientos.

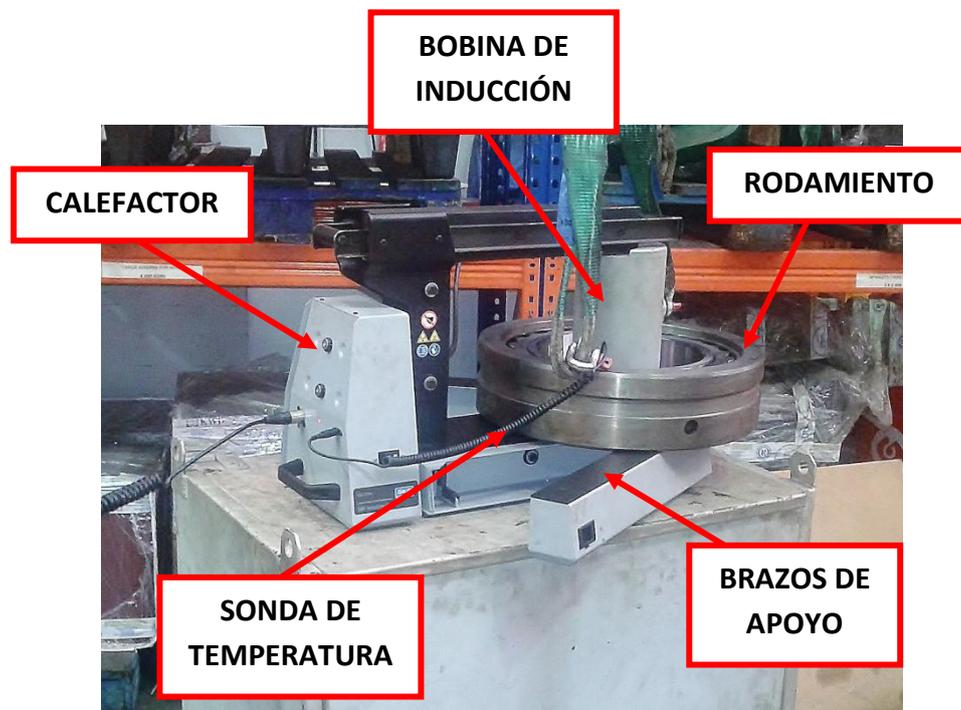


Ilustración nº78. Calefactor por inducción para rodamientos

Fuente [4]

Para colocar la corona no se puede hacer con el calefactor por lo que se hace por el método de calado axial. Este método de montaje es un modo fácil y fiable para determinar el grado de interferencia. El ajuste adecuado se consigue controlando el desplazamiento axial de la corona desde una posición predeterminada, la medida que tomamos al principio con el eje viejo la tomaremos de referencia para calar la corona en el eje nuevo. Este método incorpora el uso de una tuerca hidráulica que se acopla al eje mediante un adaptador, un reloj comparador y un manómetro montado en el inyector de aceite. En este caso se van a usar dos inyectores de aceite ya que uno va a la tuerca hidráulica para hacer presión y el otro a la corona. Los valores correspondientes a la presión de aceite requerida y el desplazamiento axial para la corona, determinan la posición adecuada de la misma.

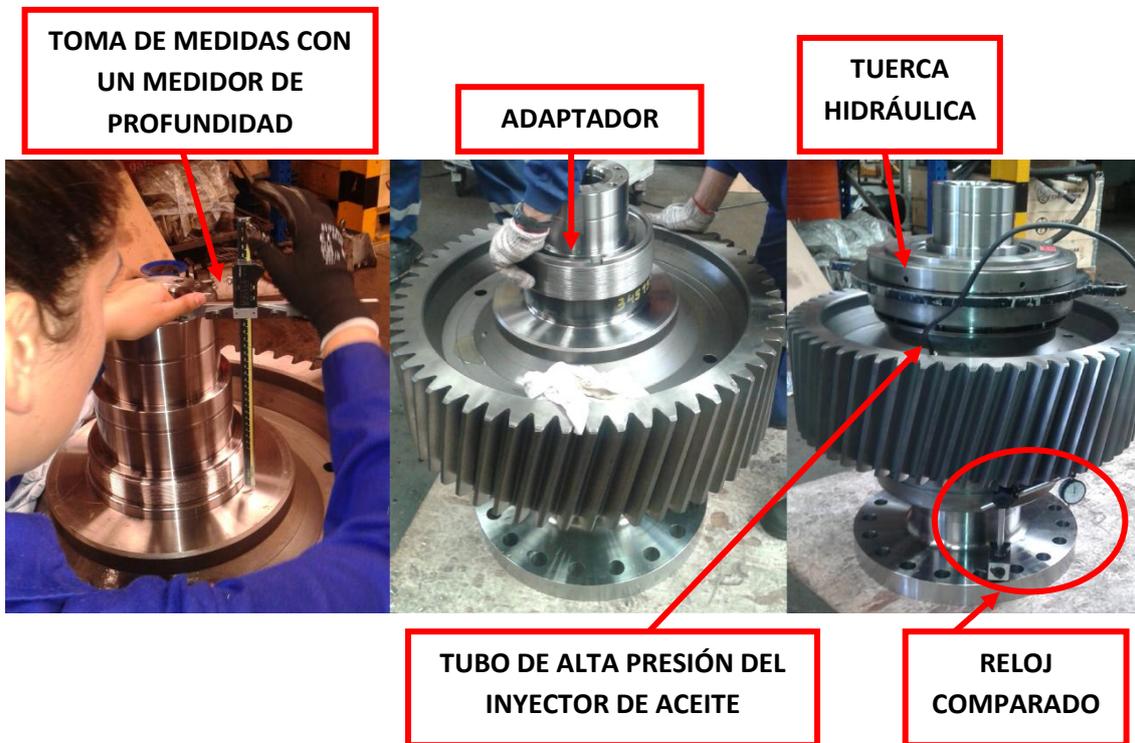


Ilustración nº79. Proceso para el montaje de la corona

Fuente [4]

Se termina de montar el rodamiento y el cojinete de empuje de la misma manera que el anterior con el método del calefactor, haciendo que dilate el material y colocándolos en el eje. Con estos pasos terminamos de montar el eje de salida y procederemos hacer lo mismo con el eje de entrada.

5.9.5 DESMONTAJE DEL EJE PRIMARIO O EJE DE ENTRADA

En principio se van a cambiar los elementos que están en verde que son los rodamientos antifricción, los discos de embrague y un cojinete, más adelante veremos cómo nos damos cuenta que hay más elementos dañados y que se tendrán que cambiar.

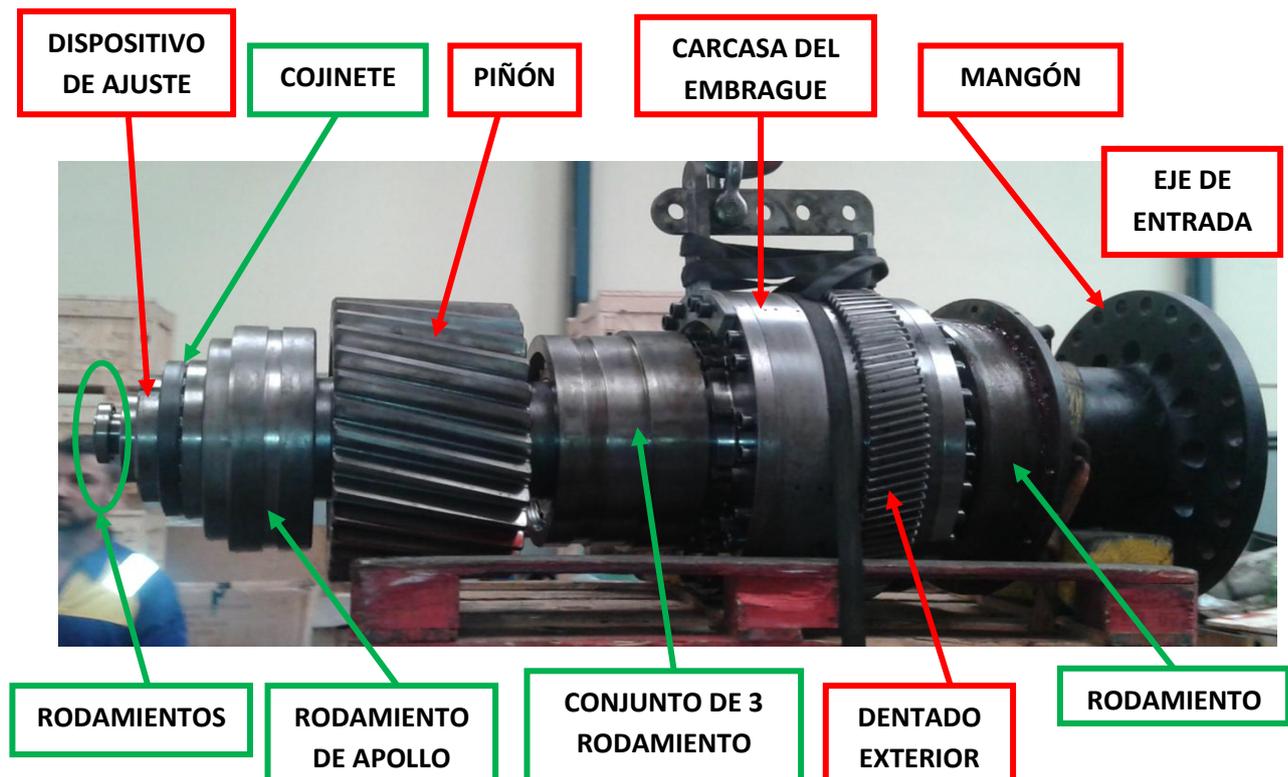


Ilustración nº80. Eje primario o eje de entrada

Fuente [4]

Se comienza el desmontaje del eje de entrada quitando el mangón con la ayuda de dos inyectores de aceite, para que la presión sea mayor. Se le atornilla un reten para que el mangón solo despegue y no salga disparado por la presión.

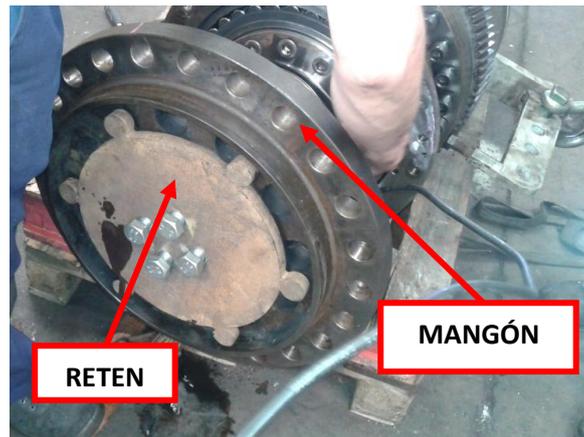


Ilustración nº81. Mangón eje de entrada

Fuente [4]

Se cambia de lado el eje y se sigue desmontando la parte delantera para poder sacar el eje interior. El dispositivo de sujeción tiene un testigo que hay que aflojar, ya que si no se podría dañar no solo el eje sino también el mismo elemento, que es lo que se muestra en la primera imagen.

En la segunda imagen se ve como se quita el *circlis* del primer rodamiento, que es un rodamiento rígido de bolas. Con un soplete, aportándole calor se quita el primer rodamiento y el elemento de sujeción. Se vuelve aportar calor con el soplete y se quita el cojinete. Este cojinete amortigua el movimiento del eje del embrague y desembrague junto con el plato que tiene entre el cojinete y el rodamiento, que tiene resortes en los orificios que tiene alrededor.

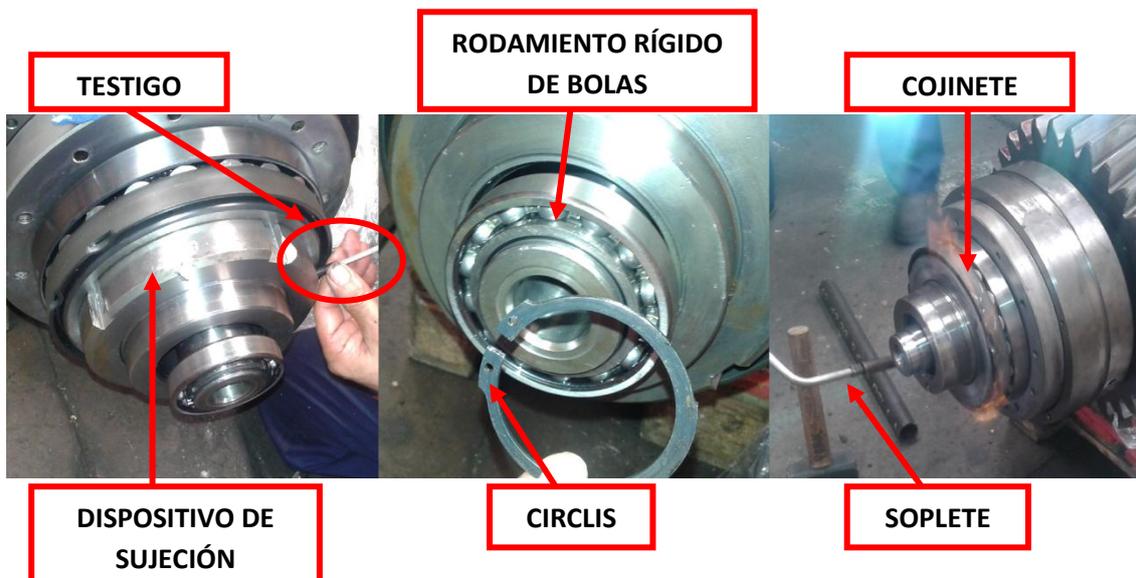


Ilustración nº82. Desmontaje de los elementos del eje de entrada

Fuente [4]

En el ultimo rodamiento antes de llegar al piñón aparecen marcas de agua, que es el color blanquesino que aparece en la imagen. Ambos rodamientos, el que se encuentra antes de la carcasa del embrague y el que se encuentra despues del piñón, son despegados del eje por el metodo de inyeccion de aceite, por presion hidraulica.

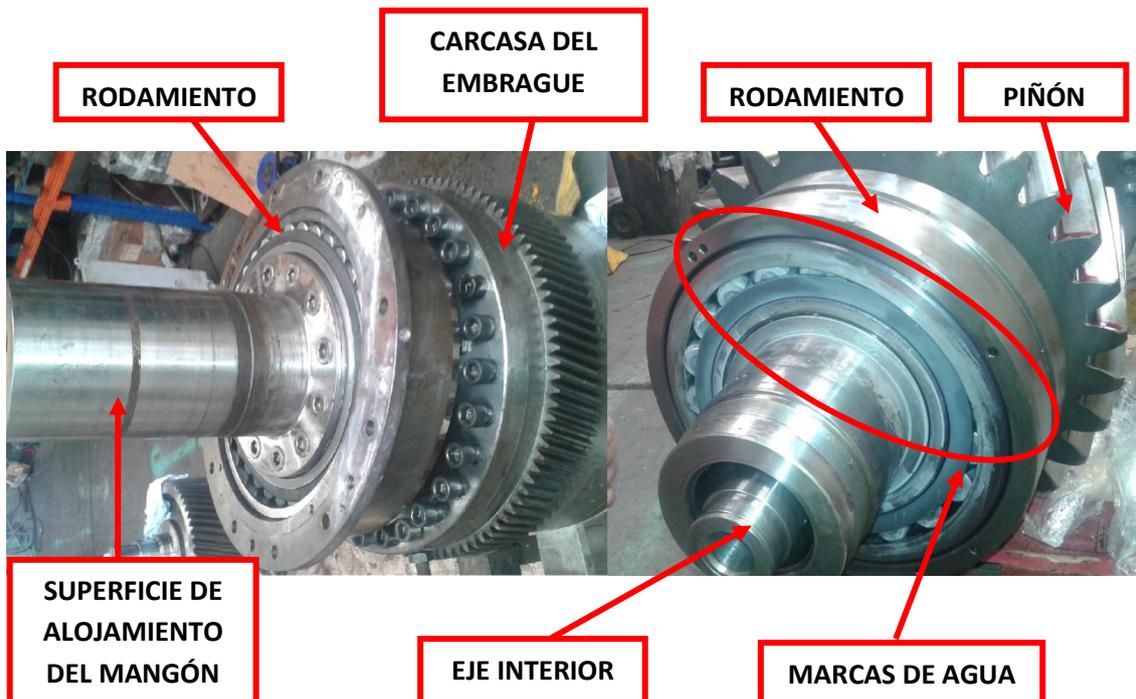


Ilustración nº83. Desmontaje de los rodamientos

Fuente [4]

Se comienza a aflojar los tornillos de la tapa de la carcasa del embrague, hay dos hileras de tornillos a diferentes niveles, unos van a la carcasa y otro van al pistón. Una vez se han quitado los tornillos se puede quitar la tapa de la carcasa y se ve extraer el eje interior del eje de entrada de la reductora. Además del eje interior también se puede observar el pistón anular, que cumple una función muy importante en el embragado y desembragado ya que es el encargo de hacer presión.



Ilustración nº84. Eje interior del eje de de entrada

Fuente [4]

Quedando el embrague abierto, se procede a quitar los discos y cambiarlos por discos de embrague nuevos. La misión del embrague es conectar o desconectar el movimiento de giro del motor a la reductora y eso se consigue con los discos de embragues.

Poseen discos interiores y exteriores, ambos unidos con piezas rotatorias. Varios discos de embrague permiten aumentar el área de fricción efectiva sin, por ello, aumentar el radio de los discos y, con ello, el tamaño de la carcasa. Además, la progresión del par transmitido entre disco y disco hasta que todo el conjunto se vuelve solidario permite mayor progresividad en la entrega de dicho par.

El conjunto de discos es comprimido por un pistón anular, que gira simultáneamente junto con su llenado de aceite. Por ello, la alimentación de aceite se efectúa mediante un eje hueco, el eje interior.

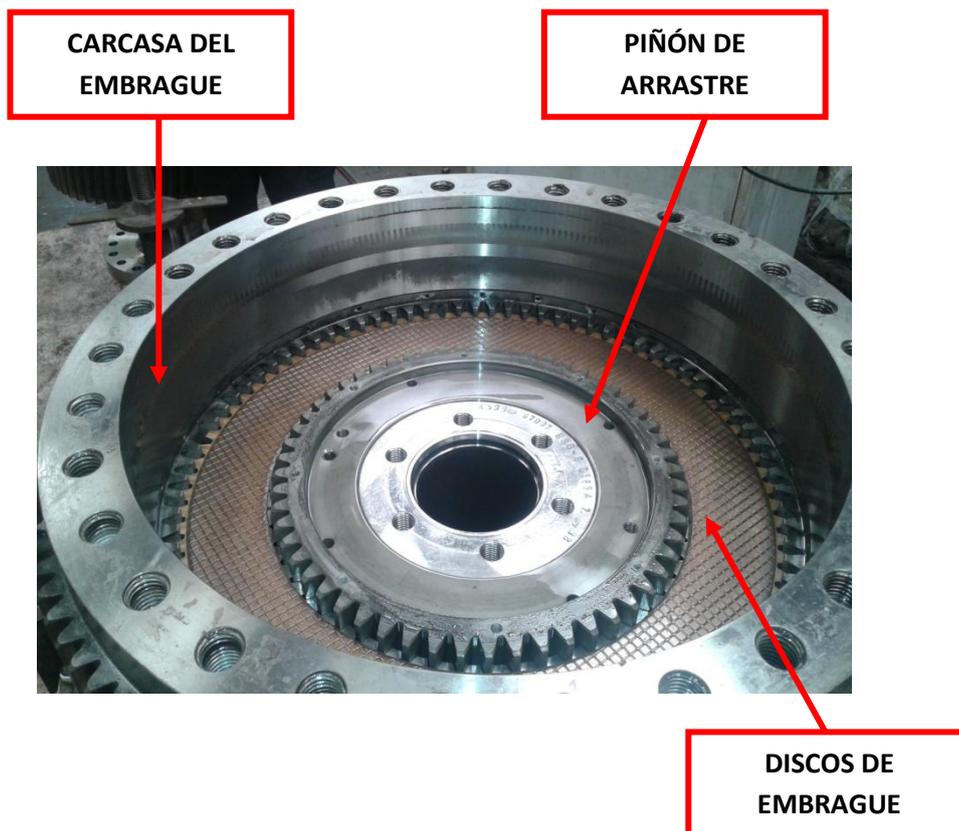


Ilustración nº85. Embrague

Fuente [4]

El embrague está formado un paquete de discos que se colocan de manera intercalada, uno interior, uno exterior. Los dos juegos de discos son de naturaleza diferente, uno de ellos está constituido por discos de acero templado, de superficie plana y pulida, que son los discos interiores que encastran con el piñón de arrastre. Mientras que el otro juego consta de discos también de acero templado pero recubierto de un material antifricción, de bronce y su superficie está dotada de canaladuras para facilitar la lubricación entre las superficies. Estos últimos son los discos exteriores que encastran en la carcasa del embrague.

Cuando se suministra presión de aceite, esta mueve el pistón anular que aprieta unos discos contra otros y con ello se produce la trasmisión de fuerza entre el eje de entrada y el eje salida.



Ilustración nº86. Discos de embrague

Fuente [4]

Para extraer el piñón de arrastre se realiza por presión hidráulica, aunque igual que con el mango es necesario poner un reten para que el piñón solo despegue de la pista pero no salga disparado por la presión y causar algún daño.

En esta imagen se puede ver ambos dentados, el del interior de la carcasa del embrague donde van alojados los discos de embrague con dentado exterior y el dentado del piñón de arrastre donde van los discos de embrague con dentado interior. Los portadiscos, en este caso el piñón de arrastre y la carcasa del embrague, tanto en el elemento interior como en el exterior, alojan los discos mediante salientes, resultando una unión en arrastre de forma.

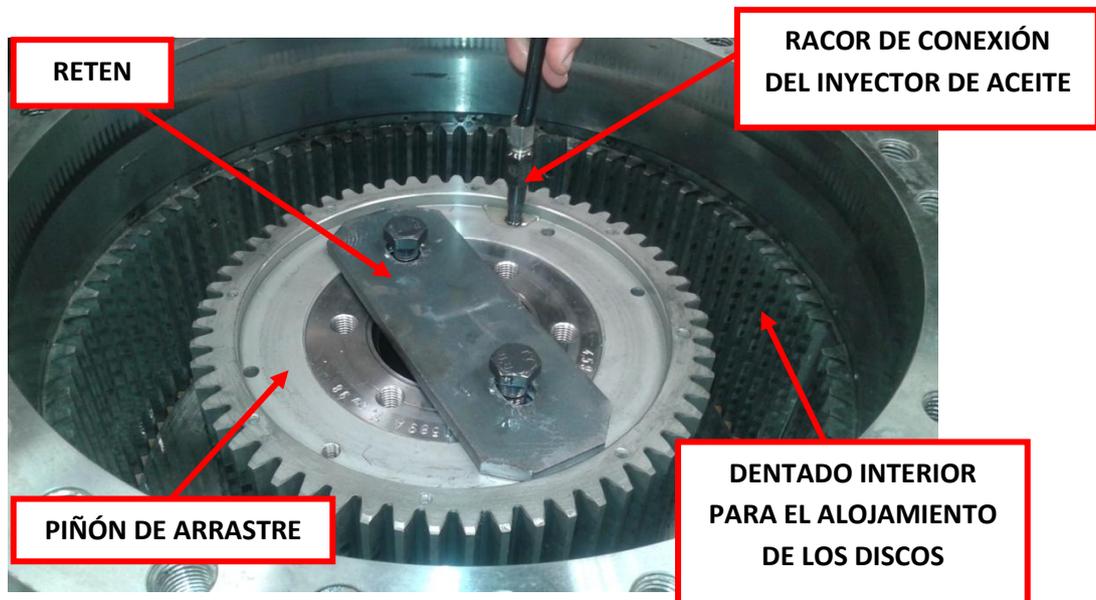


Ilustración nº87. Despegue del piñón de arrastre

Fuente [4]

Una vez quitado el piñón se puede sacar la campana del embrague que va acoplada al eje por medio del rodamiento de la campana. Cuando se saca se ven marcas de desgaste y fricción en el soporte de la campana. Al tomar las medidas para ver si esta dentro de tolerancia, se percatan que hay un desgaste de 0,30 mm mayor de la tolerancia permitida y el técnico recomienda que con esta medida no se puede montar un cojinete nuevo ya que no es seguro, por lo que hay que cambiar el soporte de la campana por uno nuevo. Es muy importante ya que el rodamiento de la campana es triple y tiene que quedar bien ajustado con las medidas concretas tanto al eje como al soporte de la campana



Ilustración nº88. Rodamiento de triple pista

Fuente [4]



Ilustración nº89. Soporte de la campana del embrague

Fuente [4]

Una vez terminado de quitar todos los elementos, se limpia el eje y se procede a tomar medidas para comprobar si esta dentro de tolerancia. En este caso el eje está bien, tiene las medidas dentro de tolerancia por lo que se volverá a montar el mismo.

Igual que en la corona, el piñón tiene marcas en el dentado y se procede a pulir dicho dentado ya que no hay ningún diente dañado ni con deformidades. Se completa la limpieza del eje piñón y se procede a comenzar con su montaje.



Ilustración nº90. Eje piñón (eje de entrada)

Fuente [4]

Las medidas del eje piñón a ambos lado del mismo son:

EJE PIÑÓN POPA		EJE PIÑÓN PROA	
$A_1 = 180,055\text{mm}$	$B_1 = 180,055\text{mm}$	$A_1 = 180,055\text{mm}$	$B_1 = 180,055\text{mm}$
$A_2 = 180,05\text{mm}$	$B_2 = 180,05\text{mm}$	$A_2 = 180,05\text{mm}$	$B_2 = 180,05\text{mm}$
$A_3 = 180,05\text{mm}$	$B_3 = 180,05\text{mm}$	$A_3 = 180,06\text{mm}$	$B_3 = 180,045\text{mm}$

Fuente [4]

5.10 MONTAJE DE LOS EJES A BORDO

Antes de llevar que lleguen los ejes a bordo, se encargan de limpiar la tapa superior de la reductora y el carter completo. Aunque estaba tapada la reductora por plásticos, es muy importante la limpieza y que en el momento del montaje de los ejes no haya ningún elemento dentro de la reductora ya que cualquier cuerpo extraño, aunque sea pequeño, a la hora de ponerse en funcionamiento la reductora puede causar graves daños.

Con los ejes ya a bordo del buque se comienza montando el eje de salida. Se coloca sobre la bancada de la reductora y se le monta una tapar que se ajusta a la bancada de la reductor por medio de tornillos y muelles y que sirve de reten para el eje y así compensar las fuerzas de empuje que sufre el eje.

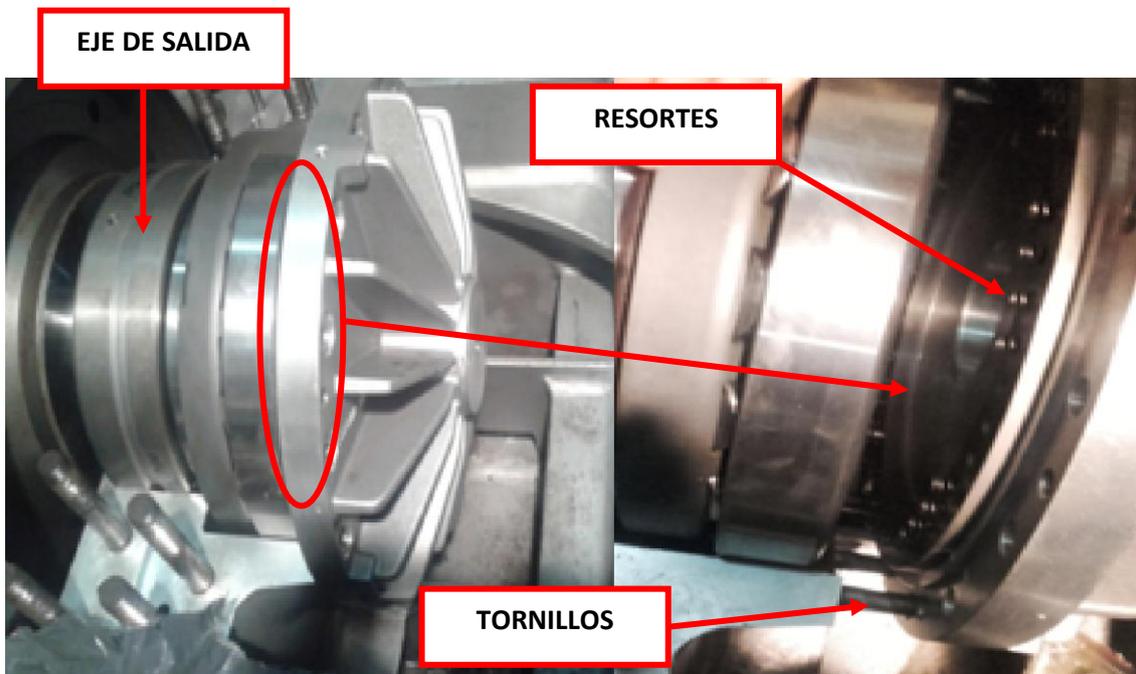


Ilustración n°91. Montaje del eje de salida

Fuente [4]

El eje de entrada se vuelve acoplar al *vulkan*, trabajo muy complicado por el peso y las dimensiones del plato delantero del *vulkan*. El ajuste tiene que ser preciso ya que como hemos mencionado antes, en esta parte es donde se transmite las revoluciones del motor a la reductora por lo que es una unión muy crítica si no se hace correctamente.

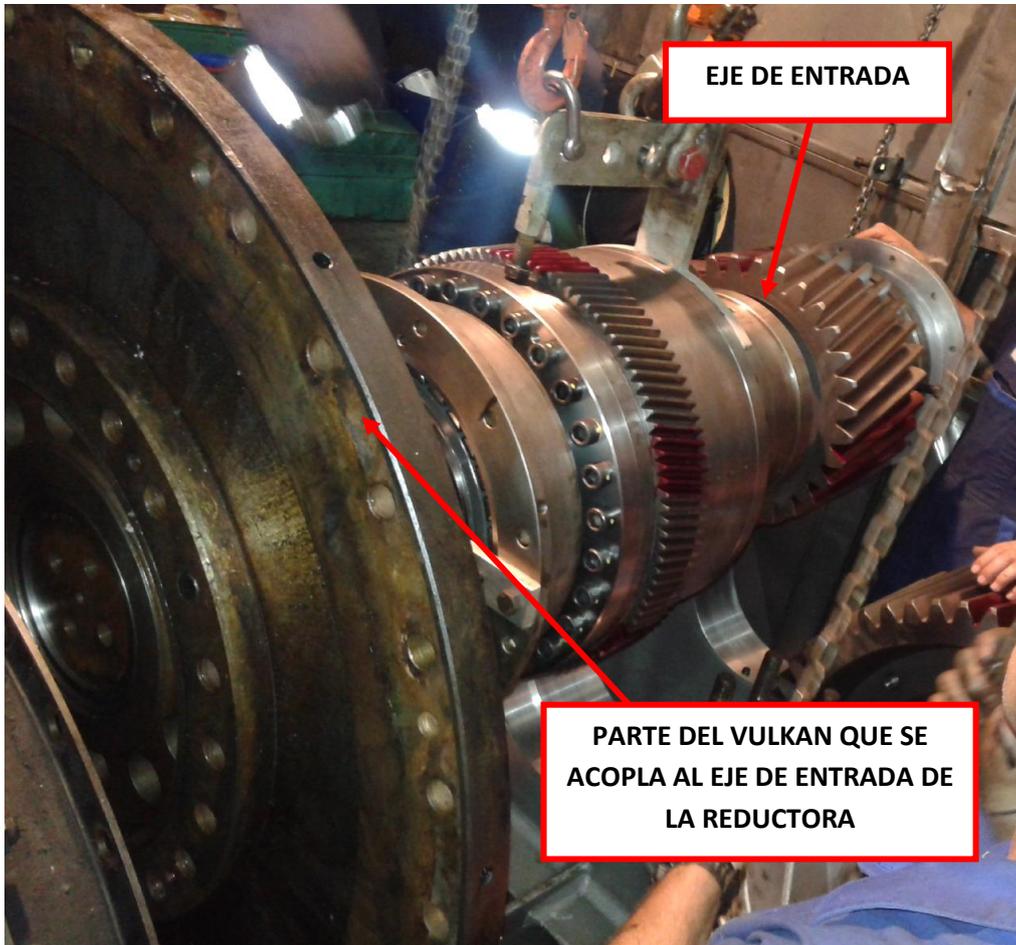


Ilustración n°92. Acoplamiento del eje entrada con el Vulkan

Fuente [4]

En la siguiente imagen se puede ver el eje de entra y el eje de salida en sus asientos correspondientes. Es importante que los orificios de engrase de los rodamientos no queden tapados u obstruidos a la hora del montaje. Para esto, se guían los rodamientos para que los orificios queden hacia arriba antes de cerrar la tapa de la reductora.

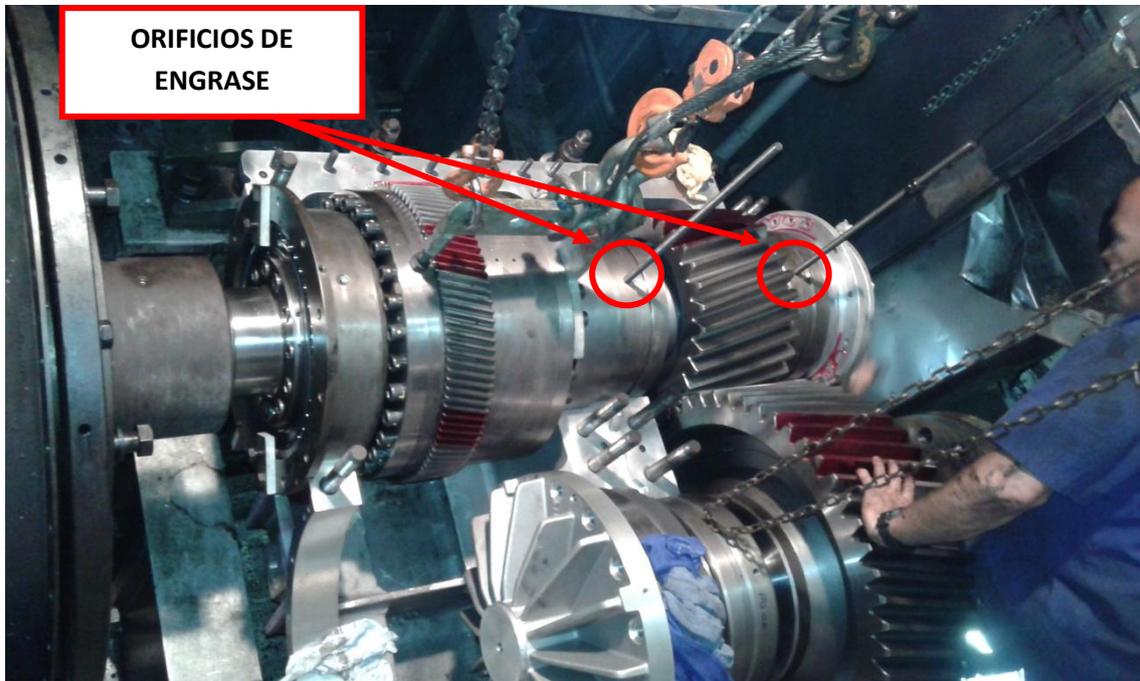


Ilustración nº93. Eje de entrada y salida

Fuente [4]

Posteriormente antes de cerrar la tapa de la reductora, se alinea ambos ejes tanto con el motor como con el eje del impulsor con un reloj comparado. El propósito de alineación de los ejes es impedir vibraciones excesivas y el fallo prematuros. Una vez alineados se ajustan firmemente sus uniones con respectivos ejes.

Se procede a cerrar la tapa de la reductora, se le añade en la bancada de la reductora un pegamento llamado “MK-3147”, es un adhesivo anaeróbico que se activa bajo la exclusión de oxígeno, a temperatura ambiente y en contacto con el metal. El componente de dureza contenido en el adhesivo líquido está inactivo mientras permanece en contacto con el oxígeno del aire. Si el suministro de aire se corta cuando, por ejemplo, las piezas de unión se unen, el adhesivo endurece o cataliza muy rápidamente. De esta manera la tapa de la reductora y la bancada quedan perfectamente fijadas y selladas.



Ilustración nº94. Alineación de los ejes y sello entre la tapa y la bancada de la reductora

Fuente [4]

Una vez cerrada la reductora, se realiza el montaje de todos sus componentes y se prepara para comenzar con las pruebas de mar. De esta forma comprobar que la reductora ha sido reparada y verificar su correcto funcionamiento.

5.11 PRUEBAS DE MAR Y VERIFICACIÓN DE LA REDUCTORA

Se realizan diversas pruebas de amarre, no detectando nada anómalo en el funcionamiento de la reductora, se mantiene a régimen de ralentí el motor durante aproximadamente una hora. Pasado este tiempo se realizan las pruebas de mar.

Se realizan escalones al 30%, 60%, 80% y 100% de carga durante periodo de 30 minutos. No se observa ninguna anomalía en el funcionamiento de la reductora, ni en el proceso de embrague y desembrague, ni en las temperaturas de trabajo y tampoco en las presiones.

Concluidas satisfactoriamente las pruebas de mar, se desmontan los registros ya que cuando se terminaron de montar los ejes en el taller, en la corona y en el piñón se pintaron partes del dentado para posteriormente poder comprobar el ajuste de los mismos. Se comprueba el contacto entre el dentado, observando que es correcto.

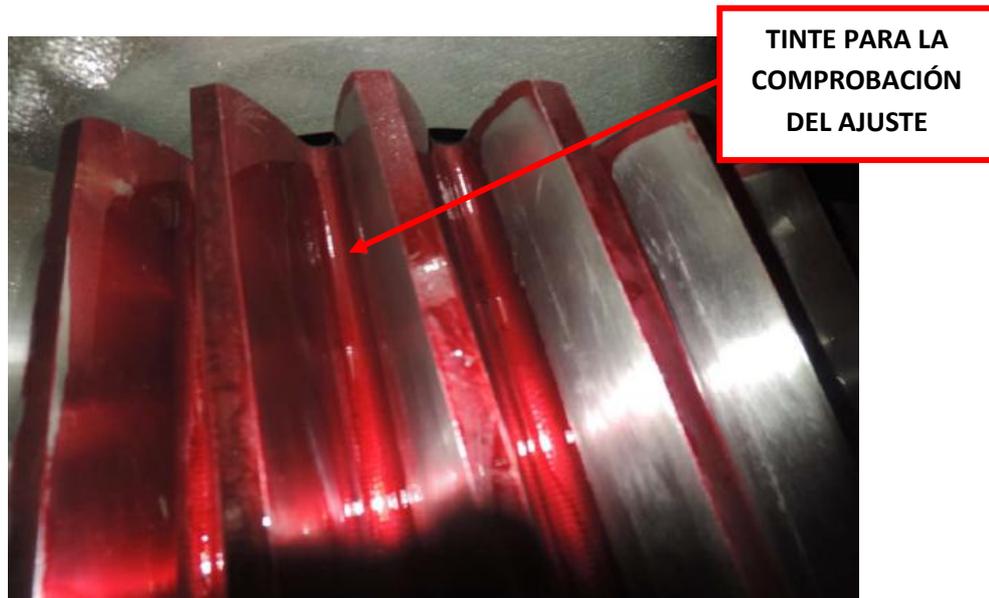


Ilustración nº95. Dentado del piñón visto desde la tapas de registro.

Fuente [4]

También después de su funcionamiento se revisa el filtro de aceite en servicio en busca de partículas metálicas. El filtro es desmontado en su totalidad para poder revisarlo bien y lo único que se encuentra es un poco sucio y con partículas del pegamento que se utilizo para sellar la carcasa pero no habían restos de partículas metálicas. Después de una reparación es normal que el filtro salga así



Ilustración nº96. Filtro de aceite

Fuente [4]

5.12 CONCLUSIÓN DE LA AVERÍA

Como conclusión, los daños observados en el eje de salida, y en consecuencia los producidos en los portarodamientos, pueden ser causados por un desequilibrio en la carga sobre los tres apoyos del eje de salida, probablemente causados por una desalineación entre el eje de salida y el eje del impulsor. El técnico recomendó realizar una comparación de la alineación sobre toda línea de propulsión en el motor (SIME) ya que para él esta avería es un indicio de una mala alineación.

El eje que mas síntomas de fricción tenía además de un rodamiento desplazado ha sido el eje de salida, por este motivo se cree que el eje del impulsor este desalineado y al estar acoplado con el eje de salida, este se ha visto sometido.

VI. CONCLUSIONES

VI. CONCLUSIONES

En éste apartado finalizaremos el contenido de éste TFG haciendo mención a las conclusiones que hemos obtenido con la realización del mismo.

- ✓ Hemos determinado el funcionamiento de los elementos que forman el equipo propulsor y no solo su funcionamiento sino la función de cada uno de ellos y su importancia a bordo del Bonanza Express.
- ✓ Hemos podido aprender que es una reductora y la función que cumple en el buque. De hecho comúnmente se piensa que es un elemento de poca de importancia ya que siempre se da más relevancia al motor y el propulsor, por lo que ha servido para destacar su función en el equipo propulsor. Hemos conocido su funcionamiento y los distintos elementos que la forman.
- ✓ Hemos destacado la importancia de un buen mantenimiento, considerándolo necesario para prever con antelación posibles averías que podrían llegar a ser más alarmantes. No solo es necesario un buen plan de mantenimiento de la máquina en cuestión, sino el conocimiento de la misma ya que como he demostrado en el barco iban mas allá del mantenimiento previsto por el fabricante, revisando otros puntos claves gracias a sus experiencia con la máquina.
- ✓ Hemos identificado una avería puntual a bordo en la reductora. Explicando etapa por etapa como se solventó la avería, desde la verificación de la misma, el desmontaje, la reparación, el montaje y su posterior comprobación. Explicando detalladamente el proceso a seguir en cada etapa
- ✓ Hemos podido aprender y así lo plasmo con las distintas fotos del trabajo de campo las distintas tareas en el proceso de reparación de la avería tanto a bordo del barco como en un taller especializado.

VII. BIBLIOGRAFÍA

VII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] <https://www.fredolsen.es/es/flota>
- [2] https://www.fleetmon.com/vessels/bonanza-express_0_44494/photos/629428/
- [3] Manual INCAT 051
- [4] Trabajo de campo
- [5] <http://www.vulkan.com>
- [6] Manual REINTJES VLJ6831
- [7] www.skf.com
- [8] <https://www.wartsila.com>
- [9] Imágenes y archivos que pertenecen al buque
- [10] Elaboración propia
- [11] http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica9.htm
- [12] <http://www.roydisa.es/wp-content/uploads/2012/12/ELECTROVALVULASNG6.pdf>
- [13] <http://www.crcindustrial.co/catalogo-de-soluciones/linea-industrial/soldadura-revelador-de-fisuras/crick-120-detector-de-grietas-penetrante-importado-/>
- [14] <http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Apunte%20Ultrasonido%202012.pdf>
- [15] <http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/micrometro-exteriores-155173.html>
- [16] Montaje de rodamientos, FAG Rodamientos
- [17] <http://www.sabelotodo.org/automovil/cajaautomatica.html>
- [18] https://ingemecanica.com/tutorialesemanal/objetos/figutut214/Mantenimiento_SKF.pdf