

ULL

Universidad
de La Laguna



DESCRIPCIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA WATERJET DEL BUQUE BENTAGO EXPRESS

**TRABAJO PRESENTADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
GRADUADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS**

**UDE INGENIERÍA MARÍTIMA
SECCIÓN NÁUTICA, MÁQUINAS Y RADIOELECTRÓNICA NAVAL
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA
Santa Cruz de Tenerife**

Héctor Marrero Rivero
Septiembre de 2015

D^a María de Cristo Adrián de Ganzo, Profesora Asociada de la UDE de Ingeniería Marítima del Departamento de Ingeniería Agraria, Náutica, Civil y Marítima de la Universidad de La Laguna, certifica que:

D. Héctor Marrero Rivero, alumno que ha superado las asignaturas de los cuatro primeros cursos del Grado en Tecnologías Marinas, ha realizado bajo mi dirección y codirección de **D. Jose Agustín González de Almeida**, el Trabajo de Fin de Grado nominado "*Descripción y Mantenimiento del Sistema Waterjet del Buque Bentago Express*" para la Obtención del Título de Graduado en Tecnologías Marinas por la Universidad de La Laguna.

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

Para que conste y surta los efectos oportunos, expido y firmo el presente certificado en Santa Cruz de Tenerife a 15/09/2015.



D^a María del Cristo Adrián de Ganzo

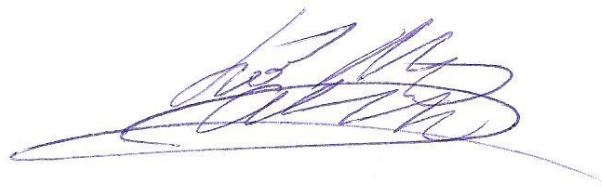
Directora del Trabajo de Fin de Grado

D. José Agustín González de Almeida, Profesor Asociado de la UDE de Ingeniería Marítima del Departamento de Ingeniería Agraria, Náutica, Civil y Marítima de la Universidad de La Laguna, certifica que:

D. Héctor Marrero Rivero, alumno que ha superado las asignaturas de los cuatro primeros cursos del Grado en Tecnologías Marinas, ha realizado bajo mi dirección y codirección de **D^a María del Cristo Adrián de Ganzo**, el Trabajo de Fin de Grado nominado “*Descripción y Mantenimiento del Sistema Waterjet del Buque Bentago Express*” para la Obtención del Título de Graduado en Tecnologías Marinas por la Universidad de La Laguna.

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

Para que conste y surta los efectos oportunos, expido y firmo el presente certificado en Santa Cruz de Tenerife a 15/09/2015.



D. José Agustín González de Almeida

Director del Trabajo de Fin de Grado

ÍNDICE DE CONTENIDOS

I.-INTRODUCCIÓN	1
II.-OBJETIVOS	5
III.-REVISIÓN Y ANTECEDENTES	9
3.1.-Antecedentes históricos	11
3.2.-Principios de funcionamiento de los waterjets	16
3.3.-Ventajas y desventajas de la propulsión waterjet	18
3.4.-Tipos de mantenimiento	20
3.4.1.-Mantenimiento predictivo:	20
3.4.2.-Mantenimiento preventivo:	21
3.4.3.-Mantenimiento correctivo:	21
IV.-METODOLOGÍA	23
V.-RESULTADOS	27
5.1.-Descripción general del buque	29
5.1.1.-Dimensiones y capacidades	30
5.1.2.-Descripción por cubierta	31
5.1.3.-Sistema de propulsión, gobierno y planta eléctrica	40
5.2.-Características del sistema waterjet en el buque bentago express	50
5.2.1.-Funcionamiento	50
5.2.2.-Partes del sistema de gobierno waterjet	51
5.3.-Mantenimientos a bordo del sistema de gobierno	73
5.3.1.-Mantenimiento predictivo	73
5.3.2.-Mantenimiento preventivo	77
5.3.3.-Mantenimiento correctivo	86
VI.-CONCLUSIONES	93
VII.-BIBLIOGRAFÍA	97
VIII. ANEXOS	101

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES, TABLAS Y ECUACIONES

Figura 1. Tornillo de Arquímedes	11
Figura 2. Dibujos Leonardo da Vinci	11
Figura 3. HMS Waterwitch de la Royal Navy	13
Figura 4. <i>Quinnat</i> de William Hamilton	14
Figura 5. Mega yate <i>Destriero</i> de Kamewa	14
Figura 6. U.S. Navy SES-100A.....	15
Figura 7. Buque Bentago Express	15
Figura 8. Velocidades del fluido en el waterjet.....	17
Figura 9. Plano cubierta de puente	31
Figura 10. Plano cubierta de pasaje.....	31
Figura 11. Disposición de espacios bajo la zona de pasaje	34
Figura 12. Plano cubierta de garaje	34
Figura 13. Plano antesalas de máquinas.....	35
Figura 14. Vista del motor principal SOME	37
Figura 15. Plano superior de la distribución de la Sala de Máquinas	38
Figura 16. Plano lateral de la distribución de la Sala de Máquinas	38
Figura 17. Plano de la distribución de la Sala de Jet.....	39
Figura 18. Vistas del Motor Principal SIME.....	40
Figura 19. Elementos de los Motores Principales	42
Figura 20. Elementos de los Motores Principales	43
Figura 21. Vista del Motor Auxiliar 1	45
Figura 22. Control de secuencia de los Motores Auxiliares	46
Figura 23. Plano y partes de la reductora	47
Figura 24. Reductora del Motor Principal PIME	48
Figura 25. Selección del Waterjet y características principales	49
Figura 26. Movimientos del Waterjet	49
Figura 27. Componentes del Waterjet.....	51
Figura 28. Toma de entrada de agua a ras.....	52
Figura 29. Aspiración de agua a ras	53
Figura 30. Bomba mixta y bomba axial para los waterjets	54

Figura 31. Waterjet desmontado en astillero	56
Figura 32. Cilindro hidráulico de doble efecto.....	58
Figura 33. Movimiento a estribor del Waterjet	58
Figura 34. Movimiento de la cuchara.....	59
Figura 35. Representación de los Steerings.....	60
Figura 36. Plano del Steering	60
Figura 37. Representación del Bucket.....	60
Figura 38. Plano del Bucket	61
Figura 39. Representación del Estator.....	61
Figura 40. Representación del Jetavator.....	62
Figura 41. Representación de la Cuchara	62
Figura 42. Vista de la Sala de Jets. Bomba PTO y bombas eléctricas	64
Figura 43. Bomba eléctrica.....	64
Figura 44. Bomba PTO.....	65
Figura 45. Funcionamiento bombas de pistón de desplazamiento variable	65
Figura 46. Esquema electrohidráulico del regulador de la PTO.....	67
Figura 47. Esquema Tanques de aceite hidráulico	67
Figura 48. Presostato Stauff	68
Figura 49. Colector con presostatos y filtro diferencial	68
Figura 50. Esquema hidráulico del colector de las válvulas de control	69
Figura 51. Funcionamiento válvula servopilotada	70
Figura 52. Válvula solenoide tipo cartucho.....	70
Figura 53. Colector de válvulas de control.....	71
Figura 54. Partes de la válvula de contrabalance.....	72
Figura 55. Enfriador aceite hidráulico/agua	72
Figura 56. Tanques de aceite hidráulico	73
Figura 57. Huelgo en el bulón del steering.....	76
Figura 58. Ánodos de sacrificio del Jet	77
Figura 59. Operario engrasando los cilindros hidráulicos.....	78
Figura 60. Jetavator	79
Figura 61. Jetavator sujeto por diferenciales	79
Figura 62. Operario extrayendo el casquillo de unión del Jetavator	80
Figura 63. Jetavator en suspensión	80
Figura 64. Casquillo y elementos de desgaste.....	81

Figura 65. Elemento de desgaste dañado	81
Figura 66. Jetavator para su colocación	82
Figura 67. Waterjet a flote.....	83
Figura 68. Tuercas de unión Waterjet-casco	83
Figura 69. Operarios montando la zona de trabajo	84
Figura 70. Operarios retirando el bulón del bucket.....	85
Figura 71. Extracción del Bucket	85
Figura 72. Bucket en inspección en garaje.....	86
Figura 73. Pérdida en el colector de válvulas de control	87
Figura 74. Pérdida en la válvula manual del control del Bucket.....	87
Figura 75. Eje conductor de la PTO	88
Figura 76. Rotura del eje conductor y del acople.....	89
Figura 77. Eje de la reductora-PTO	89
Figura 78. Engranaje conductor PTO.....	90
Figura 79. Engranaje PTO.....	90
Figura 80. Acople piñón de la reductor-eje de la PTO.....	91
Ecuación 1. Segunda ley de Newton	16
Ecuación 2. Ley de la conservación de la cantidad de movimiento.....	17
Ecuación 3. Empuje total del sistema.....	17
Ecuación 4. Rendimiento de la tobera.....	57
Tabla 1. Dimensiones y capacidades Bentago Express.....	30
Tabla 2. Especificaciones del Motor	44
Tabla 3. Especificaciones de la Reductora Reintjes.....	47
Gráfica 1. Pérdidas debidas a la curvatura de la toma de mar	54
Gráfica 2. Relación entre presión de aceite, fuerza y diámetro del pistón.....	59

I.-INTRODUCCIÓN

I.-INTRODUCCIÓN

El presente proyecto, pretende realizar un estudio sobre el sistema de propulsión por Waterjets en el buque catamarán Bentago Express, de la compañía Fred Olsen.

Se tratará de explicar, mediante trabajo de campo y de investigación, el funcionamiento, los elementos que lo componen y algunos casos de mantenimiento que se realizan en este sistema. Es de gran importancia, el conocimiento de este tipo de sistema que se está abriendo paso desde hace unos años en la propulsión marina y que cada vez más está siendo utilizado en embarcaciones rápidas para alcanzar grandes velocidades de semiplaneo con grandes resultados.

El trabajo constará de una primera parte en la se abordará los antecedentes históricos, el principio de funcionamiento de los sistemas propulsivos Waterjets, las ventajas y desventajas que poseen dichos sistemas, y los diferentes tipos de mantenimiento que podemos encontrarnos a bordo.

La segunda parte del trabajo, profundiza más en el tema de estudio y en la experiencia y conocimientos adquiridos en el tiempo de prácticas. En este apartado, se hace una descriptiva del buque Bentago Express, se explican los elementos de propulsión, planta eléctrica y gobierno. A continuación de esto se profundiza en el sistema waterjet del buque, se realiza una explicación de las características, de cómo funciona, un desglose de las partes y un recorrido con casos prácticos de los diferentes tipos de mantenimiento.

Para ello, se fundamentará el trabajo en los planos de los elementos descritos, fotos de los mismos e imágenes hechas con un programa de diseño gráfico, información recogida de libros y proyectos que se han consultado y de la propia experiencia personal.

II.-OBJETIVOS

II.-OBJETIVOS

2.1.-OBJETIVO GENERAL

- Conocer el funcionamiento y el mantenimiento de los sistemas Waterjets y en concreto el del buque Bentago Express, ya que puede presentar modificaciones respecto al sistema en otros buques.

2.2.-Objetivo específico

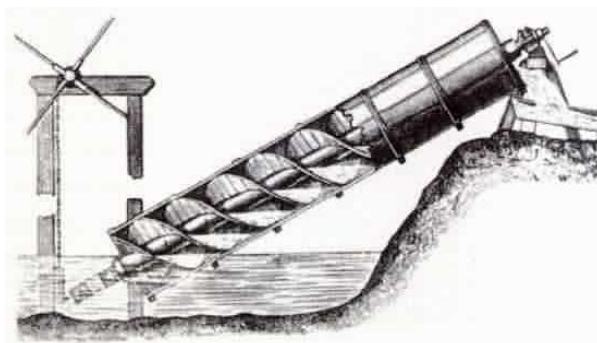
- Conocer la estructura y disposición de los elementos a bordo en este tipo de embarcaciones fast ferrys.
- Distinguir las características del sistema Waterjet del buque profundizando en su funcionamiento y en cada elemento que lo conforma.
- Ver los diferentes tipos de mantenimiento practicados a bordo, así como casos prácticos de estos.

III.-REVISIÓN Y ANTECEDENTES

3.1.-ANTECEDENTES HISTÓRICOS

- Siglo III a.C.---Arquímedes inventa el tornillo que lleva su nombre, que consiste en hacer girar un tornillo dentro de un cilindro hueco, situado sobre un plano inclinado, que permite elevar un cuerpo o fluido situado por debajo del eje de giro. Este invento, puede considerarse como el origen de la propulsión a chorro moderna.

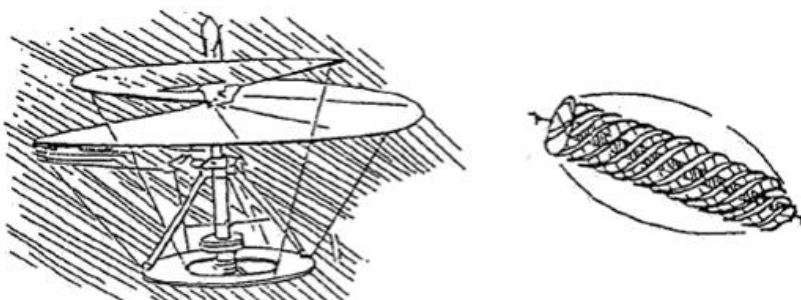
Fig. 1. Tornillo de Arquímedes



Fuente: <http://leyendasmirdalirs.com>

- 1452-1519---De la mano de Leonardo da Vinci, se retoman las primeras referencias que se tienen de sistemas propulsivos. Los dibujos de este, contenían imágenes de una espiral moviéndose para levantar agua, y el rotor de su conocido helicóptero, que era muy parecido al impulsor de una bomba de un waterjet moderno. Los primeros usos de una bomba externa incluyeron el uso de un tornillo de propulsión Arquimidiano.

Fig 2. Dibujos Leonardo da Vinci



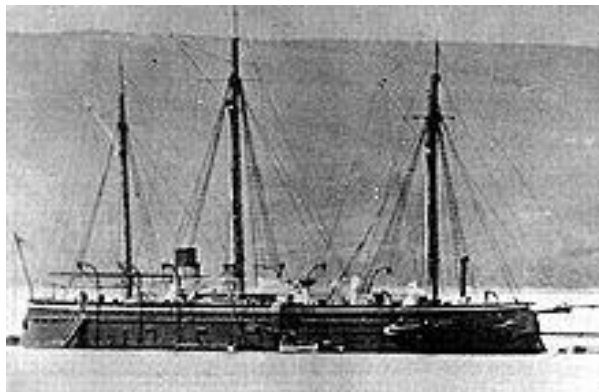
Fuente: <http://upcommons.upc.edu/>

Hasta el desarrollo de la propulsión mecánica, gracias a los motores de vapor, no existía ni la idea de propulsar buques con chorros de agua, pero poco a poco los inventos que se iban

desarrollando, iban preparando el terreno para que algún día alguien pudiera tener dicha idea.

- 1630--- David Ramsey adquirió la Patente inglesa número 50, la cual incluía una invención que según Ramsey era una invención para hacer que los botes, barcos y barcas navegasen contra fuertes vientos y mareas. Esta era una época en la que había especial interés en usar vapor para levantar agua y aplicarlo en fuentes, lo cual nos da a pensar que Ramsey ya comenzaba a vislumbrar la fuerza propulsiva del chorro de agua.
- 1661---Una referencia más clara sobre el waterjet está en una patente concedida a Toogood and Hayes (1661) por una forma particular de forzar el agua a través del fondo o costados del buque por debajo de la superficie del agua.
- 1753--- Bernoulli sugirió que si una corriente de agua era conducida hacia el exterior de popa de un barco por debajo de la línea de agua, la reacción del buque sería ir hacia delante. Su experimento consistía en que ir vertiendo agua en una tubería en forma de L que se extiende hasta el extremo de popa para generar propulsión. Este experimento sencillo de Bernoulli demostró el principio de la propulsión waterjet, aunque no determinó cómo forzar la entrada de agua hacia el barco.
- 1850---Hasta esta fecha hubo pocas o ninguna evolución debido a las limitaciones de la tecnología y el mal conocimiento sobre los principios de la propulsión. Llegado el siglo XIX había un interés considerable en la propulsión a chorro para buques de guerra. Ensayos comparativos habían sido hechos por la marina Británica y el gobierno Sueco sobre buques propulsados con hélices y con waterjet. Estas pruebas favorecieron las hélices, probablemente debido a la reducida tecnología disponible sobre los waterjets en ese tiempo.
- 1866--- en Gran Bretaña se botó el HMS Waterwitch un buque experimental, que estaba equipado con un sistema de propulsión a chorro de agua. El HMS Waterwitch fue construido para la Royal Navy. Fue la primera nave en utilizar el waterjet como propulsión pero no evolucionó como se esperaba y se abandonó la idea.

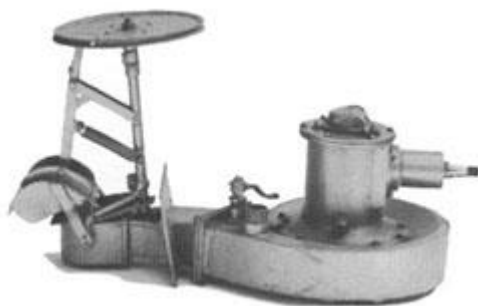
Fig. 3. HMS Waterwitch de la Royal Navy



Fuente: [https://en.wikipedia.org/wiki/HMS_Waterwitch_\(1866\)](https://en.wikipedia.org/wiki/HMS_Waterwitch_(1866))

- 1932---Secondo Campini escribió una propuesta para el Ministerio del Aire italiano en el valor de la propulsión a chorro y en 1932 demostró este valor en una embarcación de propulsión a chorro en Venecia. Nunca llegó a ser comercializada su idea.
- 1950---William Hamilton comenzó a experimentar con chorros marinos, siguió el ejemplo de la invención con más éxito hasta la fecha, la American Hanley Hidrojet que utilizaba una bomba centrífuga que conducía hacia dentro el agua y la expulsaba a través de una tobera por debajo de la embarcación, que fue capaz de alcanzar una velocidad de 6 nudos. Esta idea estaba pensada para navegar en ríos de poca profundidad de Nueva Zelanda, donde además las hélices chocaban con las rocas. Gracias a este sistema William Hamilton consiguió operar por dichas aguas, y de paso consiguió popularizar dicho sistema propulsivo.
- 1954--- William Hamilton consiguió expulsar el chorro por encima de la línea de mar, hecho que resultó ser fundamental para la evolución de la propulsión a chorro, consiguiendo velocidades de aproximadamente 14,58 nudos y la eliminación de los apéndices en la obra viva. A partir de aquí la propulsión por chorro de agua fue un éxito y surgió el waterjet de Hamilton. Este primer tipo de unidad fue nombrada "Quinnat" y consistía en una unidad de centrífuga de eje vertical, conducido a través de una caja de cambios de ángulo recto.

Figura 4. *Quinmat* de William Hamilton



Fuente: <http://www.hamjet.co.nz/global/waterjet-history>

- 1968---Kamewa (Suecia) comienza a desarrollar bombas de alto caudal y reducida emisión de calor para aplicaciones comerciales y militares. La compañía sueca fue la encargada de instalar el sistema propulsivo al buque llamado *Destriero*, un Mega Yate transatlántico que cubrió la ruta Nueva York-Inglaterra a una velocidad de 59.4 nudos y sin cargar combustible.

Fig. 5. Mega yate *Destriero* de Kamewa



Fuente: <http://www.atmosferis.com/propulsion-a-chorro-marina-waterjet-historia/>

- Entre 1973 y 1978 la U.S. Navy creó un programa en el cual se construyó un barco que conseguía velocidades de 78 nudos y cuyas bombas estaban diseñadas para absorber 40.000hp de unos 25 a unos 80 nudos. Este barco se llamaba U.S. Navy SES-100A y sus bombas han sido de las más potentes diseñadas hasta el momento. Aunque el proyecto al final acabó siendo cancelado.

Fig. 6. U.S. Navy SES-100A



Fuente: <http://www.atmosferis.com/propulsion-a-chorro-marina-waterjet-historia/>

KaMeWa ha servido de inspiración para otras empresas en el mundo como Parker, del Reino Unido, que ha ido aumentando el tamaño de sus waterjets, o Hamilton, Nueva Zelanda, que ha seguido su propio enfoque desde 1954 y ya han empezado a producir propulsores waterjet grandes, además de sus diferentes modelos pequeños.

En el sector militar destacan empresas como Aerojet, Aerojet Liquid Rocket Company, Boeing y Rocketdyne.

En la década de los 80 y 90, se incorporaron las empresas Berkeley (EEUU), Castoldijet (Italia) y Kawasaki Heavy Industries (Japón). [1][2]

En la actualidad el sistema de propulsión a chorro ha tenido muy buena aceptación, hasta tal punto que compiten con la propulsión convencional en embarcaciones de recreo o para usos comerciales, claro está que siempre dentro de un rango de velocidades altas de semiplanaje, que es donde resaltan.

Fig. 7. Buque Bentago Express



Fuente: <http://www.fredolsen.es/es/flota/bentago-express>

3.2.-PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS WATERJETS

El sistema propulsivo waterjet, del inglés chorro de agua, es un sistema extensamente utilizado para propulsar barcos a velocidades entre los 25-40 nudos aproximadamente, debido a la gran eficiencia propulsiva que tiene, buena maniobrabilidad, reducción de vibraciones y la posibilidad de retardar o reducir la cavitación.

Se utiliza en estos tipos de buque, debido a que a estas velocidades de semiplanaje se puede garantizar el flujo de agua en la entrada del impulsor. Cuando se sobrepasan los 40 nudos, el casco emerge debido a la sustentación dinámica y puede que la toma de mar quede expuesta al aire, haciendo que la bomba trabaje en vacío.

Este sistema propulsivo genera propulsión gracias a la variación de cantidad de movimiento del agua que está forzada hacia popa. Este efecto se puede entender gracias a la Tercera ley de Newton del movimiento “toda acción tiene una reacción igual y opuesta”. 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 de la nave, impulsando la embarcación hacia delante.

Como dice la Teoría elemental del Momentum, “Las hélices (o los waterjets) proporcionan un empuje propulsivo, acelerando el fluido del entorno en el cual están trabajando”. El significado de esta frase es que la aceleración que tiene el agua dentro del impulsor, será la causante de que la embarcación esté dotada de empuje.

Este empuje propulsivo se explica mediante la Segunda ley de Newton, que expone que la fuerza neta aplicada sobre un cuerpo, es proporcional a la aceleración que adquiere dicho cuerpo. Extrapolando a los buques significa que, la aceleración que adquiere una embarcación es directamente proporcional a la fuerza neta que produce el chorro de agua, en misma dirección pero sentido contrario. Esta fuerza neta sale del producto entre la masa de agua y la aceleración que tiene en el waterjet: [3]

Ecuación 1. Segunda ley de Newton

$$F = m * a$$

Según la ley de la conservación de la cantidad de movimiento, la variación de la cantidad de movimiento de la masa de agua que es aspirada por la bomba, es igual al impulso mecánico que origina el avance del buque:

Ecuación 2. Ley de la conservación de la cantidad de movimiento

$$\int_{t_1}^{t_2} F dt = \int_{m_i V_i}^{m_n V_j} d(mV)$$

Dónde:

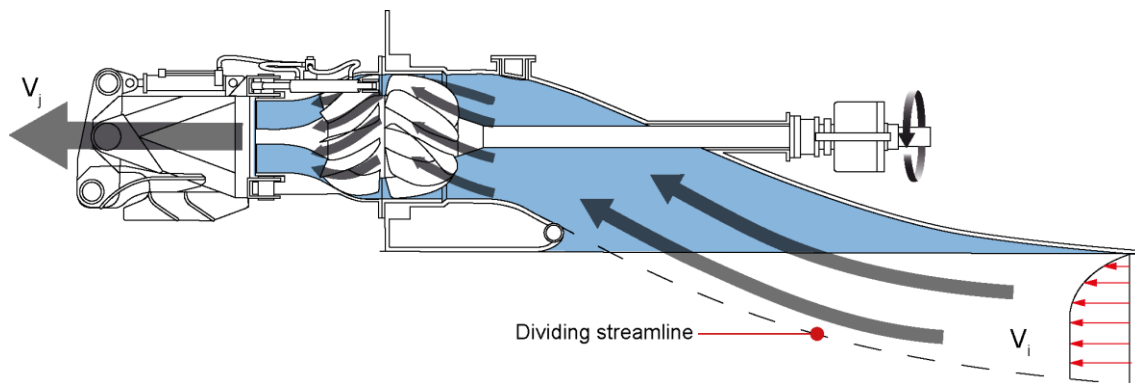
- M_n es la masa de agua que circula por la tobera,
- M_i es la masa de agua aspirada por la bomba.

La cantidad de movimiento de la masa del fluido que se expulsa por la tobera, menos la que lleva esa masa de agua al entrar por el orificio de aspiración, permite saber el empuje que produce el sistema. [3][4]

Ecuación 3. Empuje total del sistema

$$T = \iint_{A_j} \rho V_j^2 dS - \iint_{A_i} \rho V_i^2 dS$$

Fig. 8. Velocidades del fluido en el waterjet



Fuente: <http://upcommons.upc.edu/>

3.3.-VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA PROPULSIÓN WATERJET

En la propulsión waterjet destacan numerosas ventajas como son:

- La alta maniobrabilidad obtenida desviando la dirección del chorro de agua, sin necesidad de instalar reductoras ni inversores.
- La bomba se puede escoger entre una gran variedad para poder igualar las velocidades del motor instalado, lo que dará un uso idóneo bajo circunstancias de alta exigencia.
- Se pueden reducir todas las resistencias por apéndices, ya que no hay ningún propulsor montado en el exterior.
- Se puede navegar por aguas poco profundas. Además se reducen los daños por varadas y los atraques suaves no causan daños a la unidad.
- Las vibraciones y el ruido pueden ser controlados fácilmente.
- Bajo mantenimiento. Tiempo mínimo de inactividad y rutinas sencillas de mantenimiento.
- Máxima vida del motor ya que el impulsor está diseñado para ajustarse a la potencia del motor.
- No hay posibilidad de sobrecarga del motor.
- Reducción de la distancia de parada.
- Menor desgaste en la transmisión.
- Normalmente es más fácil de montar que una hélice.
- Disminuyendo el desplazamiento del buque se reduce la resistencia al avance. Como no varía la curva de impulso del chorro, el buque llegará a una velocidad mayor sin ningún tipo de problema. Siendo una hélice, al bajar el desplazamiento del buque, la hélice se aligera y se impide la absorción de la potencia de los motores y de las revoluciones por minuto al 100%.
- El sistema propulsivo waterjet se ve menos perjudicado debido a la mala mar que las hélices. Esto es porque cuando se navega con mala mar, la resistencia instantánea del buque va variando en función de las olas que llegan al casco. Un buque con hélice mantiene una velocidad más constante con mala mar, debido a que absorbe o deja de absorber potencia con los pequeños cambios de RPM inducidos por la disminución o aumento de la velocidad instantánea del buque. En

III.-REVISIÓN Y ANTECEDENTES

cambio con el waterjet, sino se actúa sobre la RPM, los chorros suministran una potencia constante, independientemente de la velocidad del buque.

Una vez se ha hablado de las principales ventajas de las que dispone este tipo de sistema propulsivo, debemos abordar los aspectos negativos que conlleva su montaje:

- Uno de los problemas principales del waterjet viene a raíz de la entrada de agua. Si un elemento interrumpe el flujo de agua, el rendimiento del waterjet decrece, con lo que el consumo de combustible se ve afectado, aumentando considerablemente. Si se navega a velocidades bajas (inferiores a los 20 nudos) también afecta al consumo de combustible, ya que la propulsión a chorro de agua está diseñada para ir a altas velocidades de semiplaneo.
- Otro problema está en la entrada de aire en el conducto de aspiración que conduce el fluido hacia la bomba, que dependiendo del casco y del régimen de navegación entrará más o menos. El problema de la entrada de aire es que, al entrar aire, el impulsor ya no trabajará con el fluido adecuado. Además de poderse estropear el impulsor, el hecho de trabajar con aire hará que el fluido este descebado y el impulso será muy reducido o nulo.
- Como último inconveniente, está el problema de la unión entre motor e impulsor. Si dicha unión no está bien adaptada a la potencia del motor, el consumo de combustible será más grande. En el caso de las hélices esta unión es más efectiva.

[1]

3.4.-TIPOS DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento está definido por la EFNMS (Federación Europea de Asociaciones Nacionales de Mantenimiento) como: “El conjunto de actividades técnicas y administrativas cuya finalidad es conservar o restituir un sistema, subsistema, instalación, planta, máquina, equipo, estructura, edificio, conjunto, componente o pieza en o a la condición que la permita desarrollar su función.” [5]

Existen tres tipos básicos de mantenimiento: el correctivo, el preventivo y el predictivo que se basan en tareas distintas. Cada tipo de mantenimiento será ideal en un tipo de situación y equipo en función de distintos factores como el económico, el personal disponible, el tiempo de trabajo, la cantidad de repuestos, etc. De cualquier manera un buen programa de mantenimiento debe ser capaz de conjugar los tres tipos de mantenimiento de la mejor manera posible para permitir alargar la vida útil de los componentes que conforman la planta de manera económica y eficiente.

3.4.1.-MANTENIMIENTO PREDICTIVO:

El mantenimiento predictivo es el conjunto de técnicas que permiten; reduciendo los costes del programa de mantenimiento tradicional, asegurar la disponibilidad y rendimiento de los elementos que componen la planta. Este tipo de mantenimiento se basa en la realización de un seguimiento del estado del equipo mediante monitorizaciones que permiten realizar sustituciones y reparaciones cuando estos no se encuentren en buen estado, sin necesidad de realizar ciertas inspecciones, y reducir los fallos imprevistos por medio de un programa de detección de anomalías.

Se trata de realizar ensayos no destructivos, como pueden ser análisis de aceite, análisis de desgaste de partículas, medida de vibraciones, medición de temperaturas, termografías, etc. El mantenimiento predictivo permite que se tomen decisiones antes de que ocurra el fallo: cambiar o reparar la máquina en una parada cercana, detectar cambios anormales en las condiciones del equipo y subsanarlos, etc.

Este tipo de programas de mantenimiento reporta un gran ahorro de costes ya que además de detectar los fallos de manera precoz permite programar con suficiente antelación el tiempo de reparación y los suministros y mano de obra que requerirá la tarea.

3.4.2.-MANTENIMIENTO PREVENTIVO:

El mantenimiento preventivo es una actividad programada de inspecciones, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica en base a un plan establecido. El mantenimiento preventivo permite disminuir los puntos muertos por paradas, aumentar la vida útil de equipos, disminuir costes de reparaciones, detectar puntos débiles en la instalación, etc.

El mantenimiento preventivo también está comprendido por el llamado mantenimiento rutinario, conjunto de técnicas que sin llegar al desmontaje de los equipos los conserva en el mejor estado posible por medio de engrases, limpiezas, sustituciones periódicas, etc.

El mantenimiento preventivo se aplicará en aquellos casos en que éste sea económicamente rentable frente a un programa de reparaciones de tipo correctivo. En algunas situaciones es posible que se dé la situación contraria, pero es frecuente que una avería en algún componente comporte deterioros y fallos en otros elementos de la maquinaria empleada. Los programas de mantenimiento preventivo requieren también que exista una prioridad en función de la vida esperada de algunos componentes y de su importancia para el funcionamiento del conjunto. De igual manera los elementos más utilizados pueden ser almacenados para ser restituidos en caso de fallo de manera sistemática.

3.4.3.-MANTENIMIENTO CORRECTIVO:

El mantenimiento correctivo es aquel en que solo se interviene en el equipo después de su fallo. Este tipo de mantenimiento, aplicado en muchas situaciones, tiene como principal ventaja la reducción de costes de inspecciones y reparaciones.

Es evidente que sólo se aplicará en aquellas situaciones en que los elementos sean de bajo coste y baja criticidad de funcionamiento. Este mantenimiento por tanto resulta ideal en casos en que la restitución o reparación no afecte en gran medida a la producción o explotación llevada a cabo por la compañía o cuando la puesta en práctica de un sistema más complejo resulte menos rentable que una práctica correctiva. El mantenimiento correctivo, sin embargo, no debe estar exento de tareas rutinarias de engrase, lubricación y/o sustitución de componentes que permitan alargar la vida útil del ítem, a menos que se trate de una instalación o componente en las fases finales de su vida útil.

Los principales inconvenientes están relacionados con la imprevisibilidad de las averías y fallos que resultan inoportunas. Debido a que las tareas no están programadas es esperable que cuando se produzca el fallo se tarde más y se necesite más mano de obra para corregirlo que en caso de tener un programa de mantenimiento que planee esta situación. Otro grave inconveniente que presenta este tipo de mantenimiento es que el problema que ha causado el fallo no se resuelve por lo que éste puede repetirse en situaciones posteriores en la misma máquina sin aumentar su fiabilidad es por ello que el mantenimiento correctivo normalmente viene acompañado de un acortamiento de periodos de reparación en la misma máquina. [6][7]

IV.-METODOLOGÍA

4.1.-MATERIAL:

Respecto a los materiales utilizados en este Trabajo de Fin de Grado, hay que destacar por encima de todo los manuales que se han podido consultar del buque Bentago Express, tanto del propio buque, como de los equipos y sistemas que en él se encuentran. Estos son la principal fuente de información que se ha tomado para la elaboración del trabajo, pero además se han consultado, para ampliar información, páginas web de los fabricantes de equipos y publicaciones online sobre la materia.

En cuanto a las figuras, se han tomado principalmente del trabajo de campo realizado. También se ha utilizado un programa de diseño gráfico llamado Sketchup junto a uno de renderizado que es el Kerkythea para elaborar una figura tridimensional de un waterjet con la que poder trabajar. Como en el caso de la información, hay figuras sacadas de manuales, páginas webs y otros medios.

4.2.-MÉTODOS:

El método de trabajo utilizado en este trabajo es una combinación entre investigación y trabajo de campo. Para ello, se ha necesitado realizar una recolección de datos de donde se pueda extraer posteriormente la información válida para el estudio.

Como complemento se ha utilizado el programa de diseño en 3D Sketchup para realizar imágenes aclaratorias de algunos equipos o elementos del sistema.

V.-RESULTADOS

5.1.-DESCRIPCIÓN GENERAL DEL BUQUE

El buque Bentago Express ha sido clasificado como High Speed Wave Piercing Catamarán adaptado para el transporte de pasajeros y vehículos entre las islas. Fue construido por INCAT en bahía príncipe de Gales en Hobart, Australia, con el nombre inicial de “Bentayga Express”, y posteriormente en el año 2005 con la reestructuración de la compañía pasaría a llamarse “Bentago Express” cubriendo la ruta Agaete-Santa Cruz de Tenerife. Tiene una capacidad de 891 pasajeros y 18 tripulantes pudiendo transportar 271 vehículos de tamaño medio o 16 camiones con semi-remolque.

Tiene un diseño similar a un catamarán convencional, pero con la diferencia de que este dispone de un mínimo de francobordo y reserva de flotabilidad, logrando así el poder penetrar las olas en condiciones meteorológicas adversas. Destaca su proa central, característica del catamarán Wave piercing, prolongándose más allá de los cascos, que proporciona reserva de flotabilidad en condiciones meteorológicas adversas.

En cuanto a su construcción, decir, que sus cascos están unidos por una estructura arqueada incorporando un casco central, manteniéndose este, por encima del agua en condiciones de máxima carga y en aguas tranquilas.

El catamarán fue construido en casi toda su totalidad en aluminio. Los refuerzos estructurales son de aluminio tipo 5383-H116 y las secciones de extrusión del tipo 6082-T. Las cuadernas van colocadas a 120cm desde su centro y en ambas direcciones del buque, los mamparos disponen de siete compartimentos estancos en cada casco, llamados void, que proporcionan reservas de flotabilidad extra a la nave.

El buque consta de un sistema de control por ordenador conocido con el nombre de Ride Control System, que proporciona al buque un sistema activo independiente de estabilizadores donde se incluyen los Trim-Tab a popa y los T-Foil a proa. Estos sistemas de estabilizadores son hidráulicos y controlados por ordenador desde el puente.

En cuanto a la propulsión, la nave va provista de cuatro motores Diesel Caterpillar modelo 3618(alojados en la salas de máquinas; dos en cada banda) desarrollando cada uno de ellos, una potencia de 7200KW, a 1050 r.p.m. Los motores van acoplados mediante el eje, a la reductora modelo VLJ 6831 de Reintjes, y a su vez a los Waterjets Lips del modelo LJ150D a través de los cuales disponemos de esos 7200Kw de potencia a máxima revoluciones. [8]

5.1.1.-DIMENSIONES Y CAPACIDADES**Tabla 1.** Dimensiones y capacidades Bentago Express

Eslora total	95,47 m
Eslora en línea de flotación	86,252 m
Manga total	26 m
Eslora total de los cascos	93,452 m
Manga de los cascos	4,5 m
Distancia desde línea central del casco a la línea de crujía	10,834 m
Calado proa, máxima carga	3,42 m
Calado popa, máxima carga	4,54 m
Toneladas registro neto	1.656 tn
Toneladas registro bruto	5.029 tn
Cantidad máxima de combustible	174.878 lts
Tanque de combustible viajes largos	2 x 196.000 lts
Capacidad de combustible para generadores de emergencia	2 x 856 lts
Capacidad de agua dulce	5.000 lts
Capacidad de aguas sucias	5.000 lts
Capacidad de almacenaje de Aceite de Lubricación	2 x 470 lts
Agua dulce refrigeración MMPP	4 x 1.500 lts
Agua dulce refrigeración generadores	4 x 50 lts
Aguas oleosas	2 x 200 lts
Tanques hidráulicos de popa (estabilizadores, cabrestantes, jets y pescantes)	2 x 400 lts
Tanque de reserva aceite sist. Hidráulicos de popa	2 x 100 lts
Tanque de aceite Proa (cabrestante, molinete del ancla e hidráulicos de los T-Foils)	1 x 240 lts

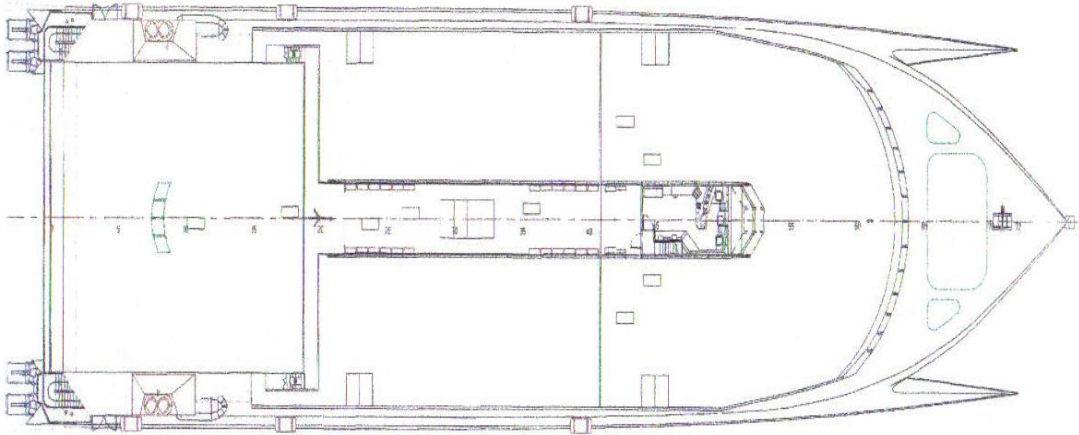
Fuente: Plano del buque: General Arrangement

5.1.2.-DESCRIPCION POR CUBIERTA

5.1.2.1.-CUBIERTA MAGISTRAL Y DE PUENTE:

Se trata de la cubierta más alta del buque. A proa se encuentra situado el puente de mando donde podemos encontrar los distintos equipos de navegación y equipos electrónicos. A popa se encuentran las dos antenas de los radares y las unidades de aire acondicionado.

Fig. 9. Plano cubierta de puente

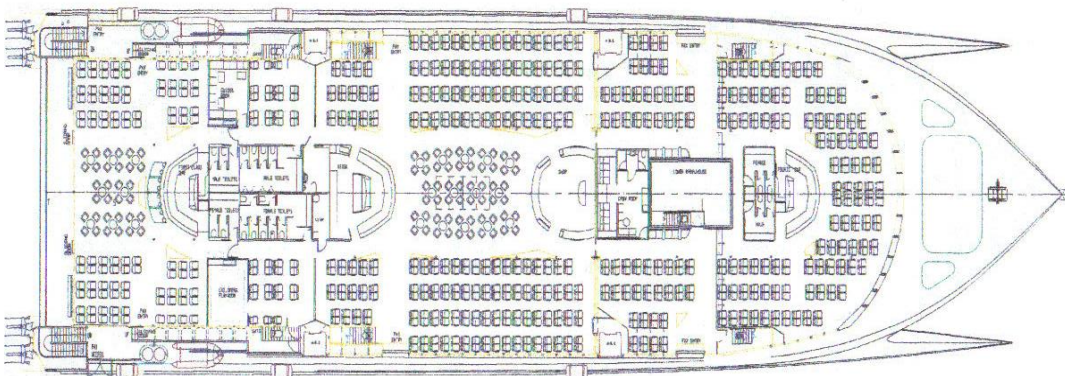


Fuente: Plano del buque: General Arrangement

5.1.2.2.-CUBIERTA DE PASAJE

La cubierta de pasaje forma la superestructura que está montada de modo flexible sobre el casco y soportada por las columnas tipo puerta y la estructura de refuerzos cruzados. Esta cubierta, está dividida en tres salones, salón de proa, salón central y salón de popa.

Fig. 10. Plano cubierta de pasaje



Fuente: Plano del buque: General Arrangement

En la zona media del salón de proa, justamente debajo del puente, nos encontramos el local eléctrico y en este se hallan los siguientes equipos:

- Cuadro Sistema de Control de instrumentos
- Cuadro control de la bocina.
- Central de gobierno.
- Cuadro del GPS.
- Cuadro de luces de navegación.
- Cuadro del limpiador de ventanas
- Cuadro de distribución DB2 Normal
- Cuadro de distribución DB2 Esencial.
- Cuadro de corriente continua normal.
- Cuadro de corriente continua esencial.
- Cuadro de corriente continua ISIS.
- Cuadro de corriente continua de la radio.
- Baterías de la radio.
- Cargador de baterías de la radio.
- Baterías del cuadro de C.C. normal y esencial
- Cargador de baterías del cuadro de C.C. normal y esencial
- Panel de los talkback.
- Panel de alarmas de fuego.
- Panel de control del Ride Control
- Cuadro de alarmas ISIS Alu 9.
- Panel de control de las reductoras de limpieza.
- Panel de control del sistema de CO₂
- Panel de control de la velocidad del viento
- Planos del buque

- Equipos contraincendios.

A cada banda, en la zona media de este salón, encontramos los portales de acceso para las escalas de pasajes de tierra y también a cada banda, pero en la popa, los accesos a los M.E.S. (Marine Evacuation Slide), es decir, las rampas de evacuación rápida.

5.1.2.3.- CUBIERTA DE 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.

En el piso de esta cubierta encontramos diversos puntos de anclaje destinados al trincaje de los vehículos que en ella van a ser estibados y que han sido instalados para cumplir la normativa vigente que regula el Manual de Sujeción para la Carga para barcos convencionales "SOLAS". Estos puntos de trincaje tienen el objeto de evitar corrimientos de carga que puedan comprometer la estabilidad de los buques convencionales, pero en un Wave Piercing Catamarán no son necesarios ya que ésta nunca podrá verse comprometida por los grandes valores de la altura metacéntrica.

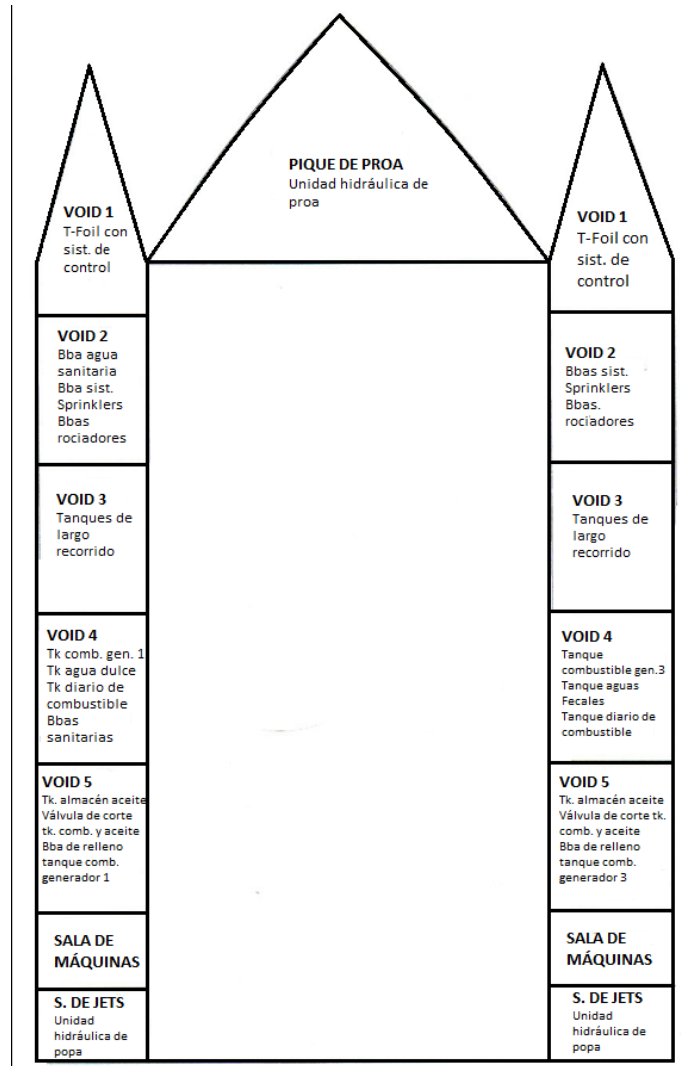
En la proa de esta cubierta y a cada banda nos encontramos con los accesos a las antesalas donde veremos en sus entradas sendos extractores de aire de las salas de máquinas, además por estas mismas entradas podemos acceder a su vez a las maniobras de popa.

En proa, hay un tambucho 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- foil), el molinete del ancla y la rampa mezzanina.

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

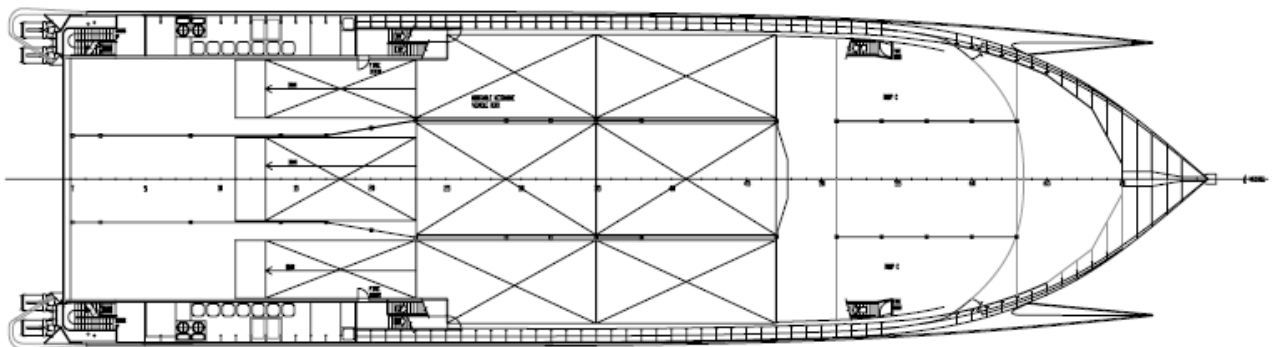
A la altura de la cuaderna 25, nos encontramos las tomas de los tanques almacén de aceite y la descarga de los tanques de lodos. Desde esta cubierta accedemos a siete espacios vacíos (voids) a cada banda, 14 en total, además del pique de proa. Cada espacio vacío tiene conectada una bomba de sentinas que descarga al mar en el túnel central a través de una válvula de no retorno.

Fig. 11. Disposición de espacios bajo la zona de pasaje



La sala de máquinas está equipada adicionalmente con una segunda bomba sumergible. Cada void tiene instalado un detector de alarma de alto nivel que es controlado por el sistema de alarmas ISIS.

Fig. 12. Plano cubierta de garaje



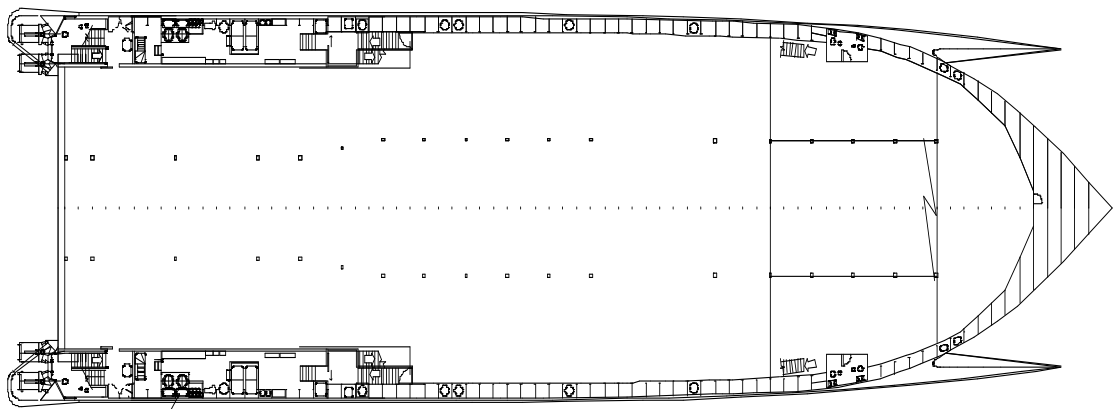
Fuente: Plano del buque: General Arrangement

5.1.2.4.-ANTESALA DE MÁQUINAS

Las antesalas están a popa, un nivel más arriba de la sala de máquinas, y hay una en cada banda siendo también simétricas. En ellas nos encontramos:

- Los cierres manuales de las rampas de ventilación de las salas de máquinas
- Cuadros de C.C. (Corriente continua)
- Cuadros de los generadores
- Cuadros de conexiones de los generadores.
- Cuadro de alarmas ISIS
- Baterías de los reguladores de los MM.PP.
- Compresor de aire de arranque de los MM.PP y MM. AA. con su respectiva botella. (un equipo en cada banda)
- Un extractor de aire de la sala de máquinas.
- Los cuadros de distribución Normal y Esencial.
- Tanques de compensación de agua dulce de los MM.PP.
- Cuadro de acople de los motores auxiliares
- Cuadro de cierre y apertura de válvulas de combustible.
- Local de las botellas de CO₂ y un pequeño taller.

Fig. 13. Plano antesalas de máquinas



Fuente: Plano del buque: General Arrangement

5.1.2.5.-SALA DE MÁQUINAS

El acceso a este compartimento se realiza por las antesalas, hay una sala de máquinas por banda y también son simétricas, nos podemos encontrar los siguientes elementos en cada sala:

- 2 motores principales.
- 2 motores auxiliares.
- 2 reductoras.
- 2 ejes de cola con sus respectivos cojinetes de apoyo.
- Cuadro de arranque y parada de los motores principales.
- Cuadro de arranque y parada del calentador de agua de refrigeración, de la bba. de prelubricación y de la bba. de agua de refrigeración.
- Calentador de agua de refrigeración.
- Bba. del calentador de agua de refrigeración.
- Válvulas de limpieza a contraflujo de las reductoras de los MM.PP.
- Válvulas de limpieza a contraflujo de los Enfriadores de placas.
- Filtros primarios y secundarios de gas-oil.
- Filtros de aspiración de agua salada.
- Enfriadores de agua/aceite de los MM.PP.
- Enfriadores de aire de barrido.
- Bbas. de prelubricación. (1 por motor).
- Bba de trasiego de aguas oleosas. (1 por sala de máquinas).
- Bba. de sentinas. (2 por cada sala de máquinas).
- Bba. de trasiego de combustible (1 por cada sala de máquinas).
- Manguera de descarga de aceite de los MM.PP.
- Manguera de aspiración de lodos de la sentina.
- Tomas de fondo de los MM.PP.

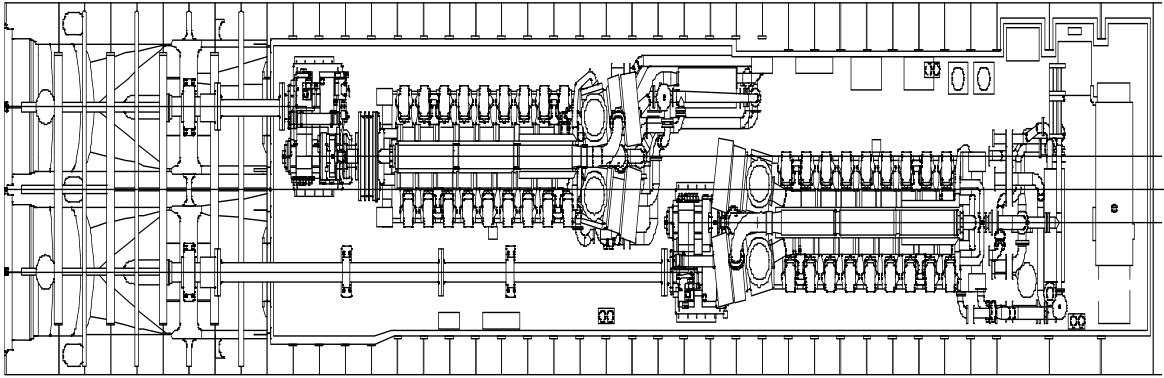
- Tomas de fondo de los motores auxiliares.
- Tomas contra incendios.
- Descarga al mar del agua salada de refrigeración.
- Tanque de lodos.
- Cuadro de alarmas ISIS de los MM.PP.
- Extractores de aire de la sala de máquinas
- Circuitos de combustible, agua, aire de arranque y aceite con sus respectivas
- válvulas.
- Circuito cerrado de televisión.
- Rociadores contra incendios, tomas de agua contra incendios, válvulas de descarga de CO₂ y extintores.

Fig. 14. Vista del motor principal SOME



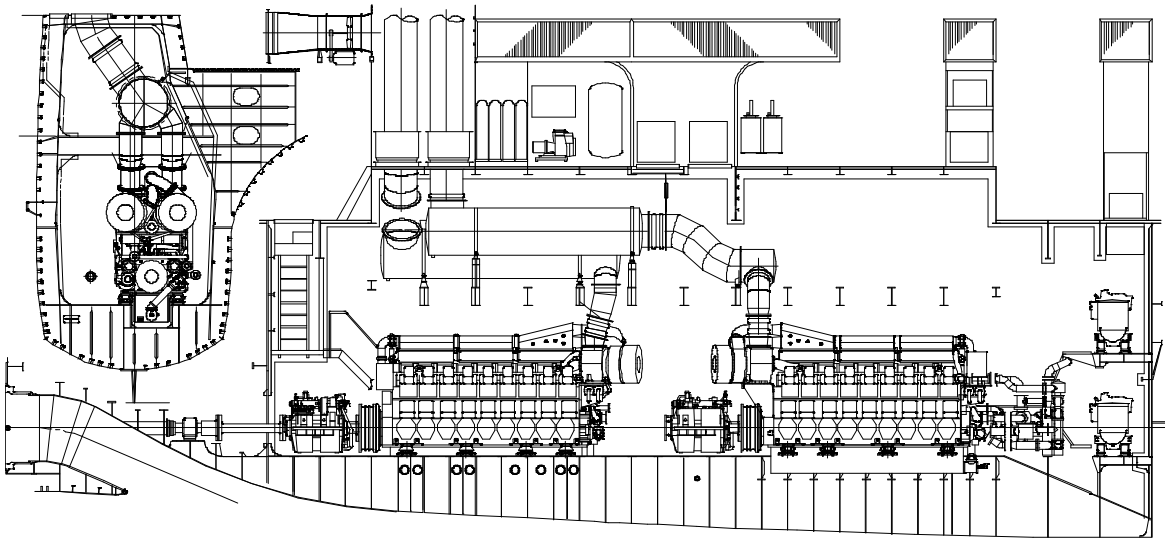
Fuente: Trabajo de campo

Fig. 15. Plano superior de la distribución de la Sala de Máquinas



Fuente: Manual: General Arrangement

Figura 16. Plano lateral de la distribución de la Sala de Máquinas



Fuente: Manual: General Arrangement

5.1.2.6.-SALA DE JETS

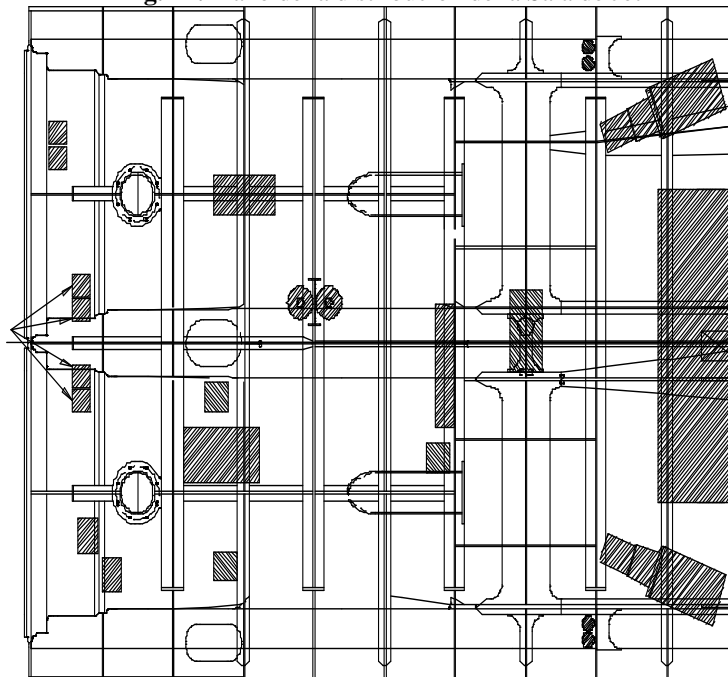
Los accesos a las salas de jets se encuentran a la salida de las antesalas y están al mismo nivel que la sala de Máquinas, hay una sala por cada banda y también son simétricas.

En ellas nos podemos encontrar con:

- 2 bombas hidráulicas eléctricas.
- 1 bomba hidráulica acoplada a la reductora de uno de los motores principales. (PTO)
- Tanque de aceite hidráulico y tanque de reserva.
- Circuito de aceite hidráulico.

- Silenciadores hidráulicos.
- Acumuladores hidráulicos.
- Pistón hidráulico del Trim-Tab.
- Válvulas solenoides de los Bucket y steering.
- Enfriador de aceite del circuito hidráulico.
- Válvulas de emergencia del circuito del Trim-Tab.
- Ejes de cola con sus respectivos cojinetes.
- Tacómetros de los ejes de cola con su caja de conexiones.
- Filtros de aceite.
- Circuito cerrado de televisión.
- Caja de conexiones de los Trim-Tab, steering y cabrestantes de popa.
- Indicadores de posición de los steerings y bucket.
- Maquinilla hidráulica de los cabrestantes.
- Bba. de sentinas y manguera de aspiración de lodos.

Fig. 17. Plano de la distribución de la Sala de Jet



Fuente: Manual: General Arrangement

5.1.3.-SISTEMA DE PROPULSIÓN, GOBIERNO Y PLANTA ELÉCTRICA

5.1.3.1.-MOTORES PRINCIPALES

En las salas de máquinas hay instalados cuatro motores CATERPILLAR de fabricación americana, ensamblados en España, del modelo 3618. Estos motores están pensados para dar propulsión a buques rápidos, aunque también son utilizados como equipos de generación de corriente.

Fig. 18. Vistas del Motor Principal SIME



Fuente: Trabajo de campo

Se trata de motores de cuatro tiempos con dieciocho cilindros en V a 50 sobrealimentados que son capaces de desarrollar una potencia de 7200 Kw a un régimen de 1050 r.p.m.

Estos motores llevan instalados unos acoplamientos flexibles de la marca Vulkan Rato R, en tres componentes, acoplados a las reductoras Reitnjes con factor de desmultiplicación 1,781: 1 de una etapa.

Para todos los buques construidos por el fabricante INCAT, se ha adoptado un convenio para nombrar a los motores en el buque, según banda y posición, de tal forma que: [9]

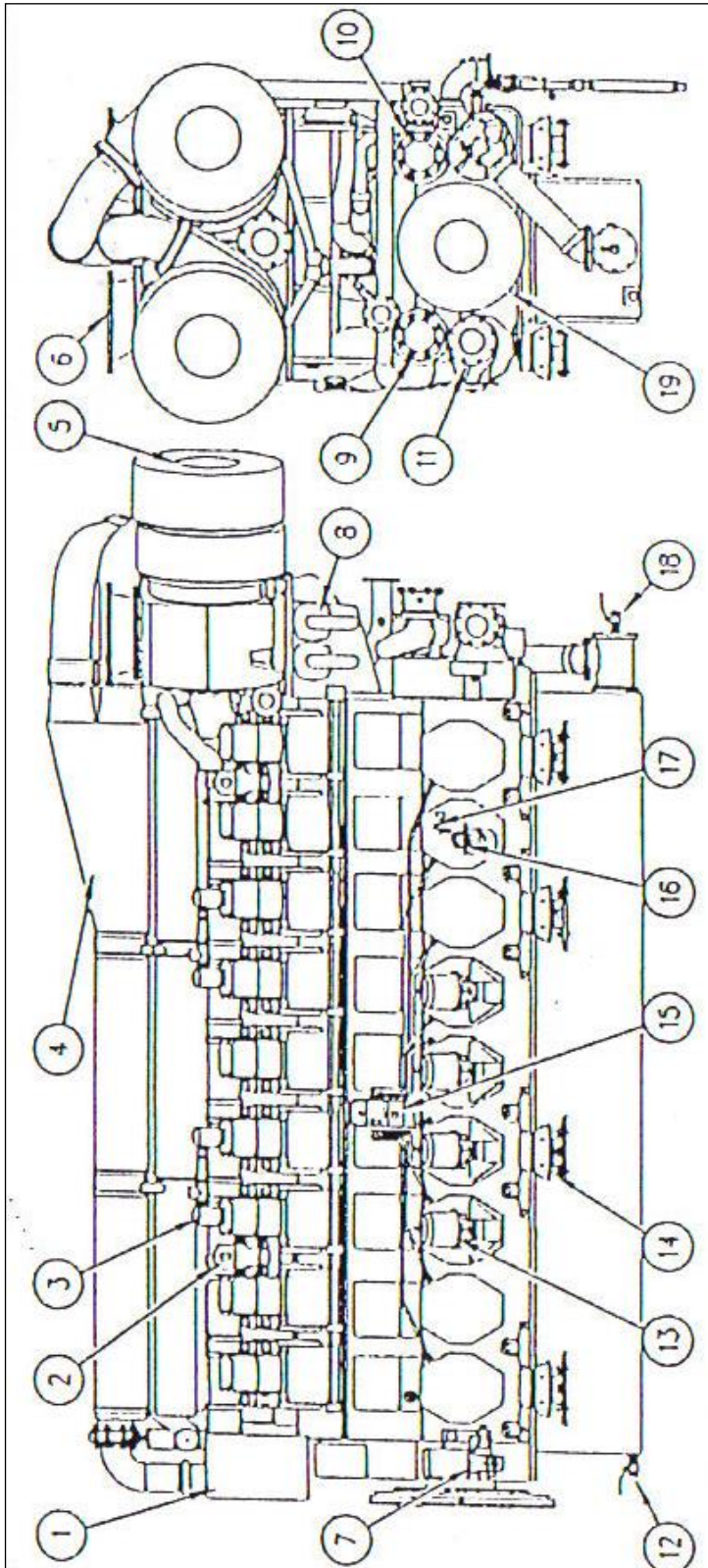
Babor:

- P. O. M. E. (Port Outer Main Engine)
- P. I. M. E. (Port Inner Main Engine)

Estribor

- S. I. M. E. (Starboard Inner Main Engine)
- S. O. M. E. (Starboard Inner Main Engine)

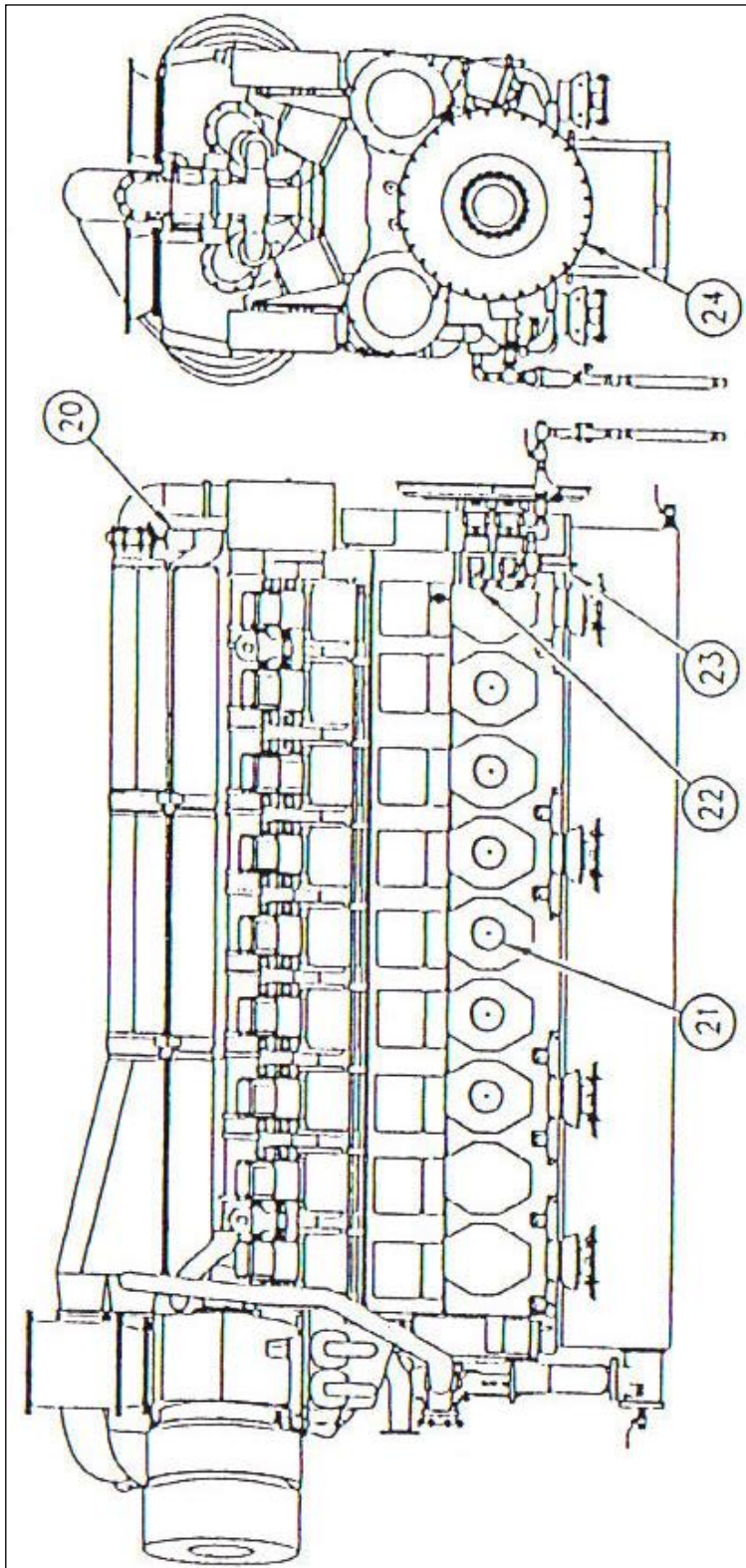
Fig. 19. Elementos de los Motores Principales



1.-Caja de conexiones	6.-Escape	11.-Bba de agua auxiliar	16.-Tubo de llenado de aceite
2.-Cáncamo de izado	7.-Dispositivo de virado	12.-Purga de aceite	17.-Indicador de nivel de aceite
3.-Respiradero del cárter	8.-Filtro de aceite	13.-Centrífugos de aceite	18.-Bba de prelubricación
4.-Cooler de aire de admisión	9.-Bomba de agua de refrigeración	14.-Tacos	19.-Amortiguador de vibraciones
5.-Turbos	10.-Bba de circulación del aceite	15.-Detector de niebla en el cárter	

Fuente: Manual: General Arrangement

Fig. 20. Elementos de los Motores Principales



20.- Válvula bypass del compresor	22.- Motor de arranque neumático	24.- Vulkan
21.- Válvula de sobrepresión del cárter	23.- Lubricador del motor de arranque	

Fuente: Manual: General Arrangement

Especificaciones del motor: [9][10]

Tabla 2. Especificaciones del Motor

Numero de Cilindros y configuración	V – 18 a 50 °
Válvulas por cilindro	4
Cilindrada	3331 cm ³
Diámetro del cilindro	280 mm
Carrera	300 mm
Relación de compresión	12,5 / 1
Combustión	Inyección Directa
Régimen de operación	1050 r.p.m.
Régimen a ralentí	350 r.p.m.
Orden de encendido	1 – 2 – 9 – 10 – 17 – 18 – 5 – 6 – 11 – 12 – 15 – 16 – 3 – 4 – 7 – 8 – 13 – 14
Sentido de giro (desde el volante)	Izquierdas
Sistema de inyección	Inyector bomba
Presión de inyección	14bar
Avance inyección	16°
Calaje válvula escape	1 mm
Calaje válvula admisión	0.6 mm
Cremallera	119.20 mm
Sistema de arranque	Neumático
Presión máxima	185 kg / cm ²
Sobrealimentación	Sobrealimentado con refrigeración del aire de carga
Máxima contrapresión admisible de gases de escape	254 mm

Máxima estricción permitida de la depresión de la admisión de aire	3.7 KPa
Perfil de carga	85 % del tiempo de funcionamiento al 100% de la potencia nominal; 15 % del tiempo de funcionamiento a carga inferior al 50% de la potencia nominal
Condiciones ambientales (máximas)	45° C Aire 32° C Agua Salada
Consumo específico de combustible al freno	205 g/KWh \pm 5% tolerancia
Presión del aire de barrido al 100% carga	2.75 Kg/cm ²

Fuente: Manual: Caterpillar 3618, Marine Project Guide Caterpillar

5.1.3.2.-MOTORES AUXILIARES

Cada sala de máquinas cuenta con dos motores auxiliares, alojados uno encima del otro, dado el problema de espacio en este tipo de buques. Ambos son de la marca CATERPILLAR y modelo 3406-B con seis cilindros en línea, que desarrollan una potencia de 260 Kw a 1500 r.p.m. y los cuales llevan instalados una turbosoplante de la marca ABB.

Fig. 21. Vista del Motor Auxiliar 1



Fuente: Trabajo de campo

Cada motor auxiliar lleva acoplado un generador de la misma marca CATERPILLAR, encargándose del suministro de corriente eléctrica. En cuanto a la generación de corriente alterna proporciona 415 / 240 voltios, en tres fases y cuatro cables, con toma de tierra sin retorno al casco. La secuencia de arranque de los alternadores se puede hacer desde los cuadros de distribución de babor y estribor y además en el puente de mandos. [11]

Los generadores de los cuatro motores auxiliares, están conectados directamente a dos cuadros principales e independientes, donde los generadores de babor alimentan al cuadro de babor e ídem con los de estribor.

Dos contadores de secuencia controlan el sistema de carga, en consonancia con los valores fijados en el panel de secuencia, arrancan y paran el grupo de generadores cuando se desee y en el orden adecuado. Un controlador de secuencia está localizado en cada cuadro de interruptores y están conectados por un cable RS - 485. Cada control de secuencias es capaz de operar independientemente, estando abierto el Bus Tie. Otra función de estos controladores es controlar a carga ya que el generador de carga puede alcanzar niveles críticos. Todos los parámetros de estas funciones pueden variarse cuando se requiera

Fig. 22. Control de secuencia de los Motores Auxiliares



Fuente: Trabajo de campo

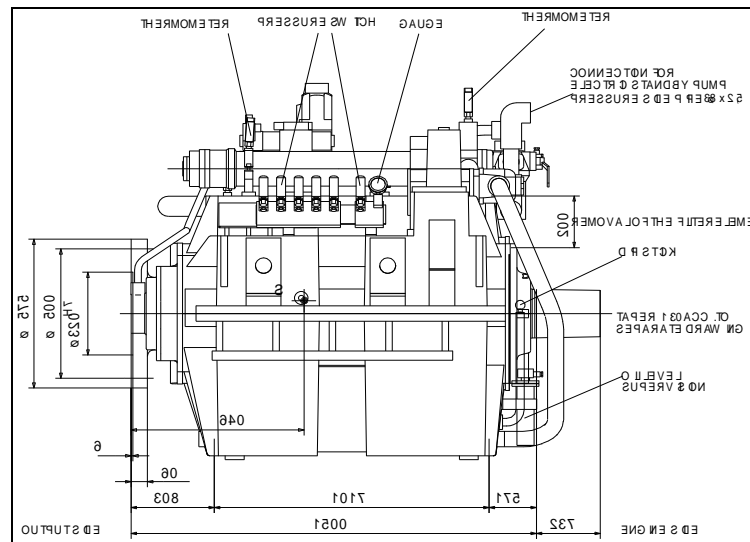
De los 4 grupos electrógenos, dos de ellos se pueden emplear como generadores de emergencia o como generadores en servicio, estos son el 1 y el 3, debido a que se hallan sobre la línea de flotación y que tienen un tanque propio de combustible

5.1.3.3.-REDUCTORA

Cada motor principal lleva acoplada una reductora Reintjet con un factor de desmultiplicación de 1781:1 con lo que la velocidad de entrada de 1050 rpm disminuye hasta entregarle a la hélice 590 rpm. Las dos reductoras de los motores interiores, SIME y

PIME además entregan potencia a la bomba hidráulica PTO a partir de una transmisión que hace que las rpm entregadas a dicha bomba sean de 2008 con lo que podrá elevar la presión hidráulica para el sistema de popa a 200 bar.

Fig. 23. Plano y partes de la reductora



Fuente: Manual: VLJ 6831 Reintjes Gearbox

Especificaciones de la reductora Reintjes: [12]

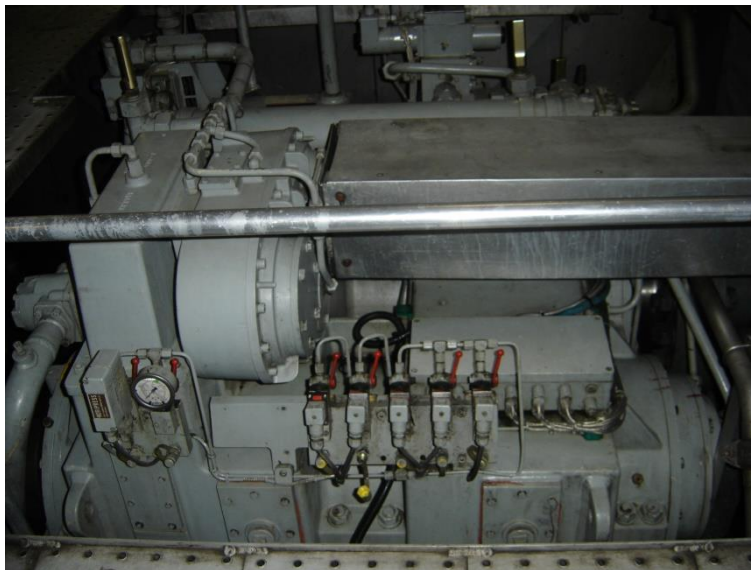
Tabla 3. Especificaciones de la Reductora Reintjes

MARCA	Reintjes
TIPO	VLJ 6831 en una sola etapa con engranaje helicoidal
DESMULTIPLICACION	1781:1
DIRECCION DE ROTACION	Entrada: Antihorario Salida: Horario
PESO SIN ACEITE	3550 Kg
CAPACIDAD DEL CARTER	230 Lt.
VELOCIDAD DEL MOTOR	1050 rpm
VELOCIDAD DE HELICE	590 rpm
MAX. VELOCIDAD DE ENTRADA	1050 rpm

EMPUJE DE HELICE ADMISIBLE	408 KN
VELOCIDAD PARA EMBRAGAR	Min. 350 rpm. Max. 470 rpm.
TIPO DE ACOPLE MOTOR	Vulcan Rato 3430 R
TRANSMISION A LA BOMBA HIDRAULICA DEL JET	Dirección de rotación: la misma que el motor Desmultiplicación: 0,523:1 Velocidad: 2008 rpm

Fuente: VLJ 6831 Reintjes Gearbox

Fig. 24. Reductora del Motor Principal PIME



Fuente: Trabajo de campo

5.1.3.4.-SISTEMA WATERJETS

El buque va provisto de cuatro propulsores waterjets Wartsila de tipo axial, encargados de convertir la potencia entregada por los motores principales en empuje y de dotar de gobierno a la embarcación. Estos propulsores son capaces de entregar los 7200 bkW que entrega cada motor como empuje, pero para que esto ocurra debe seleccionarse el waterjet adecuado atendiendo al motor que se tiene montado a bordo. [13]

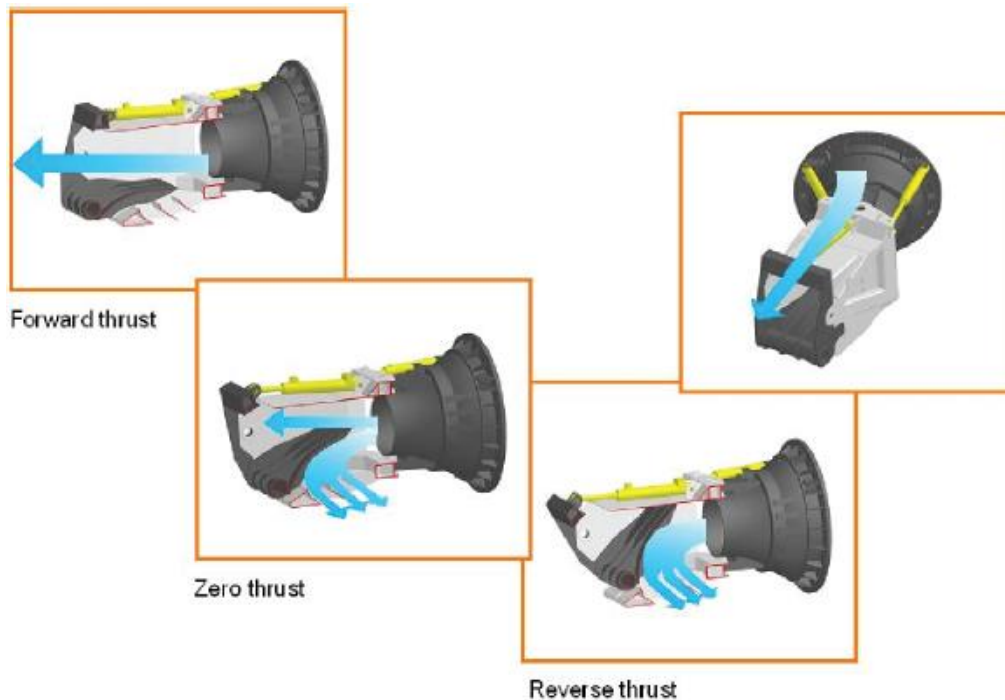
Fig. 25. Selección del Waterjet y características principales



Fuente: <http://www.wartsila.com>

El gobierno del chorro de agua se consigue a través de cilindros hidráulicos que orientarán la tobera para que el chorro de agua tome una dirección según se requiera.

Fig. 26. Movimientos del Waterjet



Fuente: Wärtsilä Waterjets Product Guide

5.2.-CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA WATERJET EN EL BUQUE BENTAGO EXPRESS

5.2.1.-FUNCIONAMIENTO

El sistema comienza en la reductora del motor principal interior, donde a través de un juego de engranajes dan 2008 rpm a la bomba principal de circuito, la PTO, que será la encargada principalmente de hacer funcionar el sistema hidráulico de popa. Con ella, por motivos de seguridad y para maniobra, encontraremos dos bombas eléctricas que tendrán la misma función. Sólo con las tres bombas actuando a la vez obtendremos la velocidad de respuesta óptima del sistema.

Estas bombas aspiran aceite hidráulico de un tanque con una capacidad de 400 litros situado sobre ellas, y lo manda hacia un colector de distribución, donde se hace pasar el aceite a través de un filtro de diferencia de presión. A parte de este filtro, en este colector encontraremos presostatos para controlar la presión de las líneas.

En este colector se separa el aceite hidráulico en dos vías, una será la encargada de actuar sobre el estabilizador de popa, denominado Trim-Tab, mientras la otra se encargará del gobierno de los waterjets de esa banda.

Tras salir del colector de distribución, se dirige el aceite hacia otro colector, en el que las válvulas direccionales aquí instaladas recibirán 200 bar de presión para controlar el flujo de aceite que posicionará los cilindros hidráulicos en la posición deseada para orientar la tobera (Steerings) y/o la cuchara (Bucket).

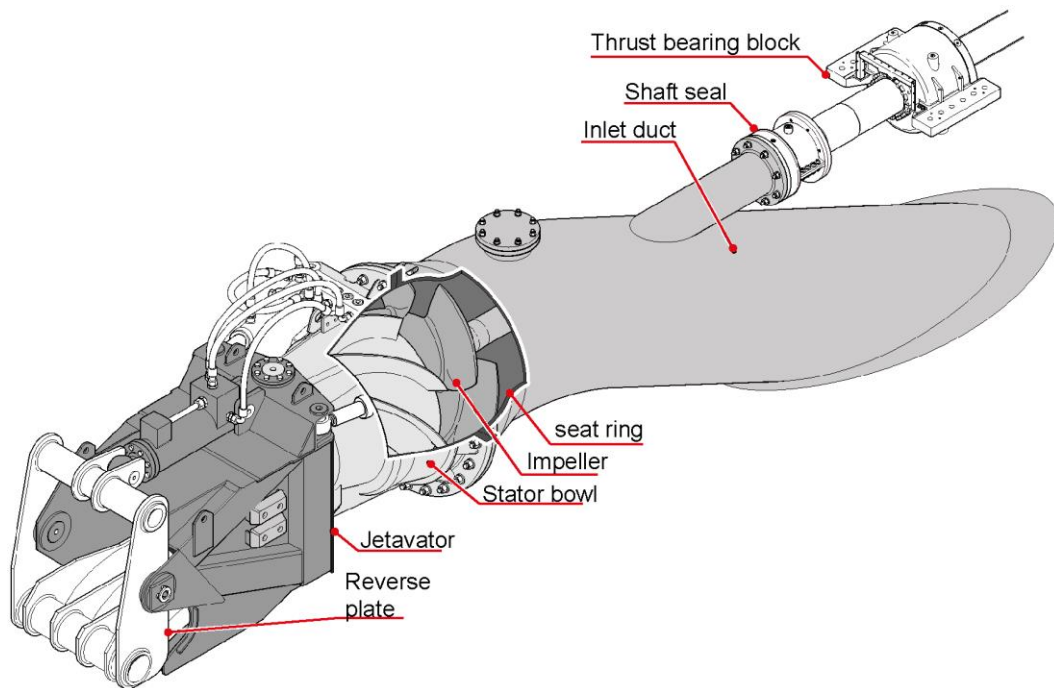
El aceite, en su fase de retorno al tanque, pasa por una válvula termostática que se encargará de hacerlo pasar, si está a una temperatura por encima de la deseada, por un enfriador agua de mar-aceite para reducir la temperatura y lo hará retornar al tanque. Esta agua de mar utilizada se toma directamente del impulsor de la bomba del waterjet aprovechando el momento de giro que se obtiene.

Durante la operación, el agua entra a la instalación del waterjet a través del conducto de aspiración, pasando por unos filtros denominados antialgas, después pasa al impulsor de la bomba. El impulsor es movido por el motor principal, a través de una reductora, y una línea de ejes con cojinetes. Mientras el flujo pasa a través del conducto, el agua es presurizada por la bomba. La bomba y la tobera han sido diseñada para obtener un gran rendimiento, el impulsor gira dentro de una camisa de acero inoxidable .Detrás del

impulsor, está ubicado el estator que cuenta con paletas directrices para guiar el flujo de agua a la entrada de la tobera.

La velocidad del agua es muy superior a la velocidad del barco, lo que origina la reacción para la propulsión del buque. La óptima eficiencia se consigue si el agua en la salida está justo encima de la superficie del agua. [14]

Fig. 27. Componentes del Waterjet



Fuente: Wärtsilä Waterjets Product Guide

5.2.2.-PARTES DEL SISTEMA DE GOBIERNO WATERJET

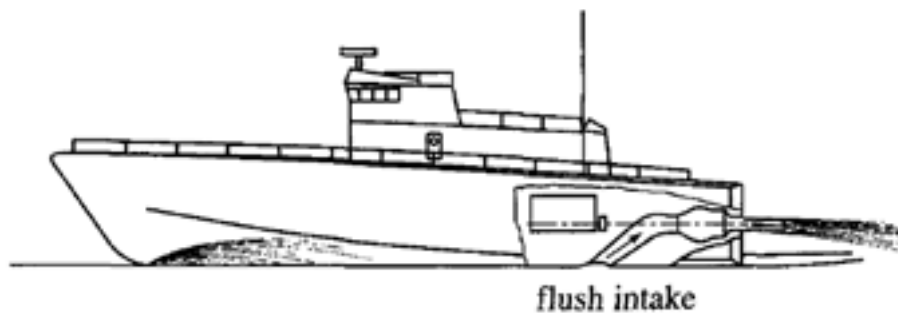
5.2.2.1.- CONDUCTO DE ASPIRACIÓN:

El conducto de aspiración es el encargado de conseguir que el agua llegue desde la toma de mar hacia el impulsor. Tiene un sentido ascendente, teniendo pérdidas de carga inherentes a su forma, debido a la inclinación del ducto y a sus codos. Sabiendo que tiene unas pérdidas de carga inherentes a su forma hay que tratar de reducirlas al máximo, garantizando que su sección, superficie interna y ángulo progresivo de los codos generen las menores pérdidas de carga posible. Las pérdidas son proporcionales a la longitud e inversamente proporcionales al diámetro, por lo que el conducto ideal sería de mayor diámetro posible y de menor longitud. Hay que tener cuidado con el diámetro del conducto

ya que dependiendo de éste, la cantidad de agua aspirada puede suponer un aumento excesivo del desplazamiento del buque.

La entrada por excelencia hacia el waterjet es la entrada a ras (también llamadas “flush inlets”), que tiene una abertura elíptica o rectangular en el fondo del casco de la embarcación. En realidad para tener una entrada ideal debería estudiarse cada caso en concreto, es decir para un sistema waterjet determinado, que requiere unas ciertas características hay que ponerle una entrada determinada, siendo el objetivo el conseguir una razón de velocidad de entrada óptima y libre de cavitación. Lo más importantes de una toma de mar, es que recuperen la mayor parte posible de energía del agua. [1]

Fig. 28. Toma de entrada de agua a ras



Fuente: <http://upcommons.upc.edu/>

Las tomas de mar a ras del casco, requieren que el flujo se curve para que pueda entrar en el conducto. No incrementan la resistencia del buque, pero cabe el riesgo de que entre aire en el caso de que el calado a popa no sea suficiente o también si los movimientos de la embarcación son muy bruscos.

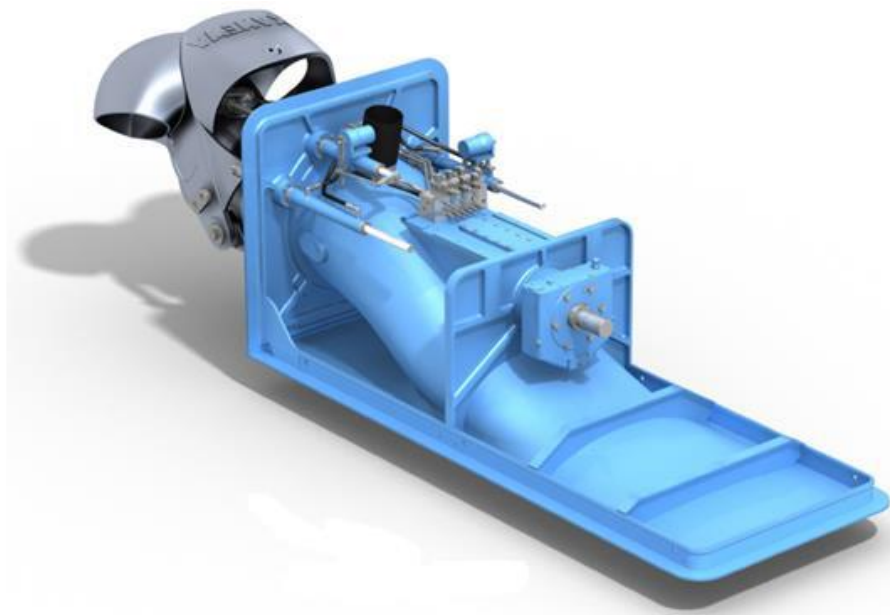
El problema de las tomas de agua a ras es que a velocidades altas alteran el flujo justo a popa de la entrada, debido a que a altas velocidades se origina una cierta difusión de flujo hacia proa de la toma. También aumentan la presión a popa de la misma, ya que en esa zona disminuye el espesor de la capa límite del buque. El resultado es la aparición de una fuerza neta sustentadora en la popa del buque.

En definitiva, la disposición de la toma de mar a ras, se basa en el compromiso entre colocarla más cerca de popa para reducir la longitud de los conductos, y consecuentemente el peso de agua embarcada, y colocarlas a proa para disponer de superficie de fondo para aprovechar la sustentación.

Para evitar la formación de turbulencias en la entrada, los bordes del ducto deben tener cierta curvatura.

Para finalizar es importante tener en cuenta el filtro de agua de la toma de mar. La función de este es obvia, filtrar las partículas sólidas que pueda tener el agua para proteger la bomba mediante una rejilla. El punto de filtración es crítico debido a que la geometría de la toma de mar y la superficie total de su entramado dependerá en gran parte de las pérdidas de carga del conducto de aspiración, el cual se traduce directamente en potencia absorbida no efectiva.

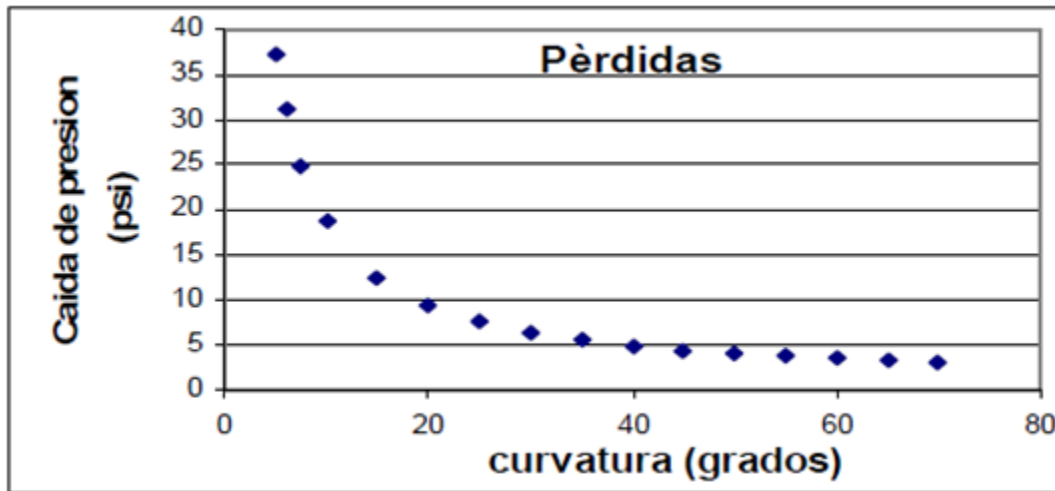
Fig. 29. Aspiración de agua a ras



Fuente: <http://www.nauticexpo.com/prod/rolls-royce/>

En ocasiones se utilizan diferentes ductos que convergen a un empalme que conduce el fluido hacia la bomba. Conforme a la información conseguida un ducto simple es el más recomendable para ser utilizado en estos diseños. Otro aspecto a ser considerado son las curvaturas que se pueden presentar en el ducto. Se puede concluir que las pérdidas serán mínimas teniendo una gran curvatura, es decir, el radio debe ser lo más grande posible. Cuanto menos número de curvaturas y cuanto mayor curvatura posible a la hora de diseñar el ducto mejor. Se muestra a continuación la tendencia que tienen las pérdidas en función de la curvatura del ducto:

Gráfica 1. Pérdidas debidas a la curvatura de la toma de mar



Fuente: <http://upcommons.upc.edu/>

5.2.2.2.-IMPULSOR-BOMBA

El impulsor tiene la función de acelerar el flujo, mediante unas palas que tiene incorporadas, y succionar el agua por la toma de mar. Las bombas principalmente utilizadas son las mixtas y las axiales de velocidad específica alta, que suministran grandes caudales con moderadas alturas manométricas con rendimientos altos. Gracias a dicha velocidad específica alta es posible la utilización de pequeñas, livianas y altas bombas.

La mayoría de waterjets utilizan bombas mixtas, aunque también hay diseños exitosos puramente axiales como en el caso del buque que nos ocupa. Estos diseños suelen ser más pequeños en diámetro y con una potencia menor que las bombas mixtas, pero no alcanzan la misma eficiencia que las mejores bombas mixtas (rendimiento >90%).

Fig. 30. Bomba mixta y bomba axial para los waterjets



Fuente: <http://upcommons.upc.edu/>

Las bombas de inducción se instalan justo antes de las bombas axiales para hacer una “primera fase”. Suelen emplear largas paletas muy sólidas con un bajo ángulo de ataque, tienen un mejor rendimiento de cavitación, que significa que muestran una pequeña reducción de la altura con el inicio de la cavitación, y una mínima erosión por cavitación a velocidades específicas de succión muy altas. Debido a todas estas características son muy útiles como la primera fase de las bombas axiales, y además pueden tener una estación de impulsión (una fila de pequeñas palas axiales), por si mismas. Se ha hablado mal de estas bombas debido a su supuesta baja eficiencia y requerimientos de alta potencia. Si es cierto que su eficiencia de bombeo (89%) es más baja que las mejores bombas mixtas (91%), pero pueden compensar esto con su capacidad de flujo potencialmente más alto por su tamaño y peso, en especial para aplicaciones de alta velocidad.

Las características que se quieren de una bomba para propulsar un waterjet son:

- Alta eficiencia a alto coeficiente de fluido.
- Diámetro exterior mínimo para un determinado tamaño de tobera.
- Bajo peso para un determinado tamaño de tobera.
- Libre de cavitación a la velocidad máxima desde la entrada del fondo del casco
- Capaz de funcionar en régimen continuo con un poco de cavitación sin una notable erosión por cavitación de las palas, el estator, la tobera, etc.
- Materiales resistentes a la corrosión que dan alojamiento la bomba y partes asociadas.
- Diseño mecánico superior de los rodamientos, sistema de lubricación, sellado del eje, etc.
- Alta velocidad de bomba para permitir el uso de una caja de cambios más ligera.

Este último punto es fundamental ya que gracia al aumento de la velocidad de la bomba se consigue:

1. Minimizar el agua en el conducto de entrada.
2. Minimizar el peso y medida de la bomba que serán proporcionales a los pares requeridos para su accionamiento.
3. Minimizar el peso, medida y coste de las reducciones que son necesarias intercalar entre los motores principales y las bombas. Esto es así ya que la relación entre la potencia del motor y su volumen es muy elevada, es decir, el motor sufre un empacho.

Las bombas necesitan una presión absoluta mínima a la entrada del impulsor si se quiere evitar la cavitación. Si la presión cae por debajo de este valor, se formarán burbujas de vapor que posteriormente, al llegar a una zona de mayor presión, crecerán y pueden causar

erosión, vibraciones, ruidos y destrucción del impulsor y/o otras partes de la bomba. La cavitación no solo reduce el rendimiento y provoca ruidos y vibraciones sino que también deteriora los materiales del impulsor.

5.2.2.3.-ESTATOR CON TOBERA DE SALIDA

La tobera es un conducto que transforma la energía potencial que viene de la bomba en energía cinética. Esta energía cinética es la que hace que finalmente se produzca el empuje neto sobre la embarcación. Este aumento de cantidad de movimiento es debido a que a mismo caudal, con la reducción del diámetro de la tobera y disminución de la presión, hay un aumento de la velocidad del fluido que pasa por la tobera. [15]

Fig. 31. Waterjet desmontado en astillero



Fuente: Trabajo de campo

En todo este proceso de conversión existirán pérdidas, así que es importante tener presente la eficiencia de la tobera en el proceso de transformación de la energía. En la figura siguiente se muestra la eficiencia de la tobera respecto la relación de diámetros de ésta.

La eficiencia se puede definir como:

Ecuación 4. Rendimiento de la tobera

$$\eta_{Tobera} = \frac{\frac{V_{out}^2 - V_{in}^2}{2g}}{\frac{P_{in} - P_o}{\gamma}}$$

Fuente: <http://upcommons.upc.edu/>

Dónde:

V_{in} =Velocidad a la entrada de la tobera,

V_{out} =Velocidad a la salida de la tobera,

g =aceleración de la gravedad,

P_{in} =Cabezal a la entrada de la tobera,

P_o =Presión atmosférica.

La medida de la tobera se ha de elegir acorde con la aplicación que se le quiere dar y con la bomba que se quiere trabajar, para conseguir un buen rendimiento del chorro y un caudal adecuado para evitar la aparición de cavitación.

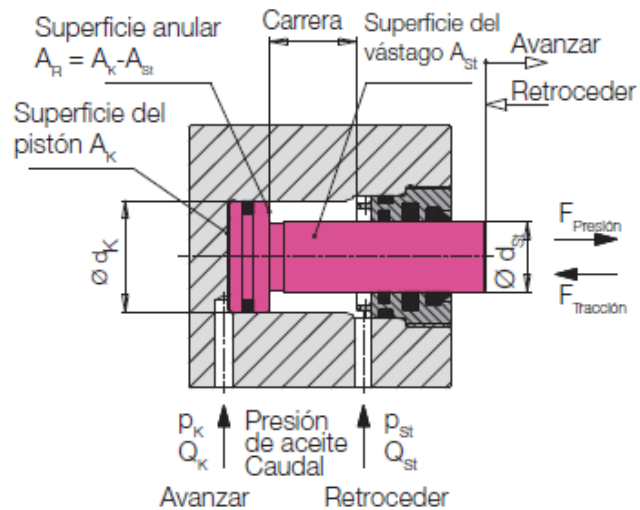
El gobierno en una embarcación propulsada por waterjets se basa en la tobera orientable y la cuchara, para decidir qué rumbo se quiere tomar y como se quiere desarrollar la propulsión.

La tobera orientable se rige por el impulso efectivo, y es una de las grandes características de los waterjets. No requieren timón, de tal manera que se evita sumergir apéndices que tendrían fricción con el agua. El método de gobierno de dirección de los waterjets se consigue desviando el chorro respecto el eje de crujía, mediante cilindros hidráulicos denominados steerings y bucket que dirigen el chorro mediante un giro de la tobera sobre un acoplamiento semiesférico.

5.2.2.3.1.-STEERINGS Y BUCKET

Se trata de cilindros hidráulicos de doble efecto que a alta presión hidráulica consiguen la maniobrabilidad del buque. [16]

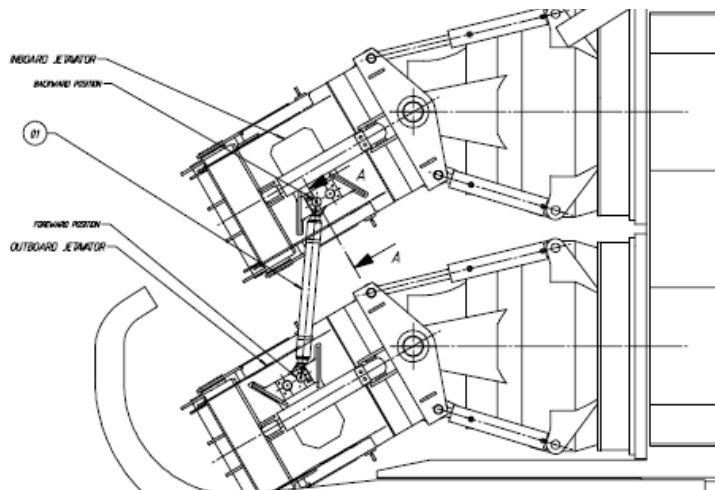
Fig. 32. Cilindro hidráulico de doble efecto



Fuente: Cosas interesantes a conocer sobre cilindros hidráulicos. ROEMHELD

En el caso de los Steerings, estos se encargan de orientar el jetavator de babor a estribor hasta un máximo de 30°. Habrá dos por cada waterjet, y funcionarán a la inversa gracias a las válvulas proporcionales instaladas en la sala de jet. Cuando se quiera girar a estribor, el waterjet se debe orientar también a estribor por lo que el steering de babor recibirá más presión hidráulica en el lado de avance del pistón mientras que el steering de estribor los hará en el lado de retroceso.

Fig. 33. Movimiento a estribor del Waterjet

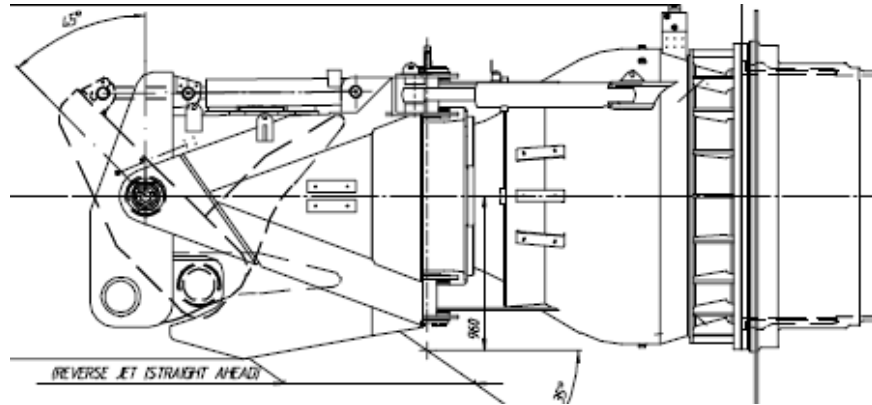


Fuente: Manual: LIPS drawings and partslists

El Bucket se encarga de actuar sobre la cuchara para revertir la marcha, y poder ir para atrás o quedarse en posición cero. Es de mayor diámetro que los steering e irán provisto uno por waterjet. Cuando el pistón avanza, la cuchara entra en acción haciendo que el

chorro de agua choque contra esta, provocando que el chorro vaya hacia proa y el empuje cambie de sentido.

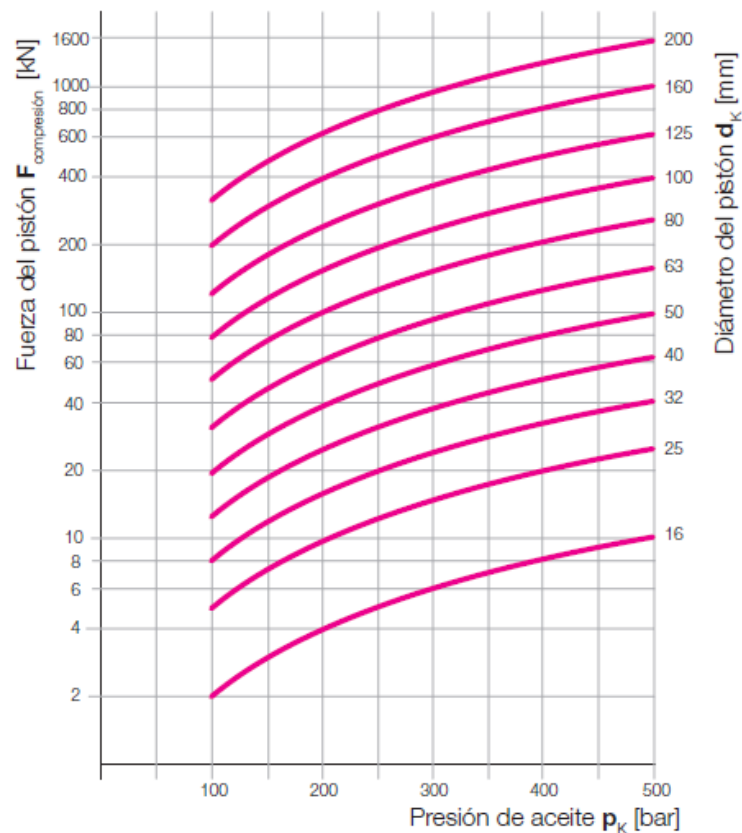
Fig. 34. Movimiento de la cuchara



Fuente: Manual: LIPS drawings and partslists

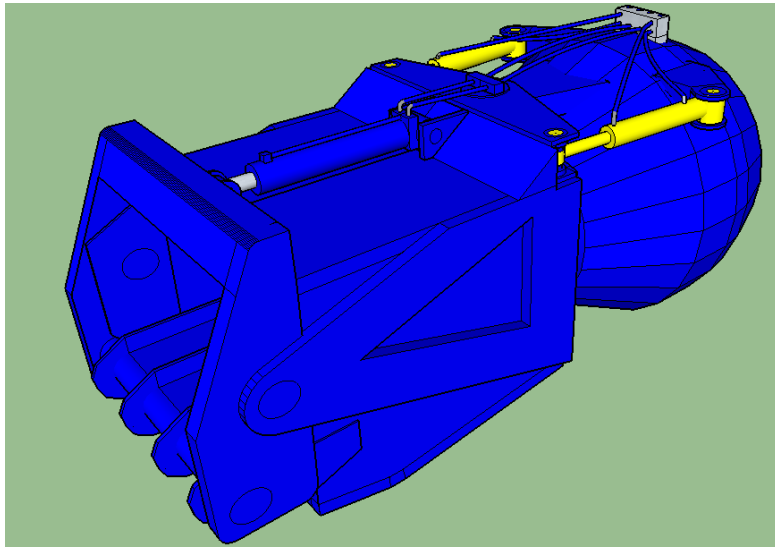
La gráfica siguiente muestra la relación entre la presión de aceite, la fuerza del pistón y el diámetro del pistón. [16]

Gráfica 2. Relación entre presión de aceite, fuerza y diámetro del pistón



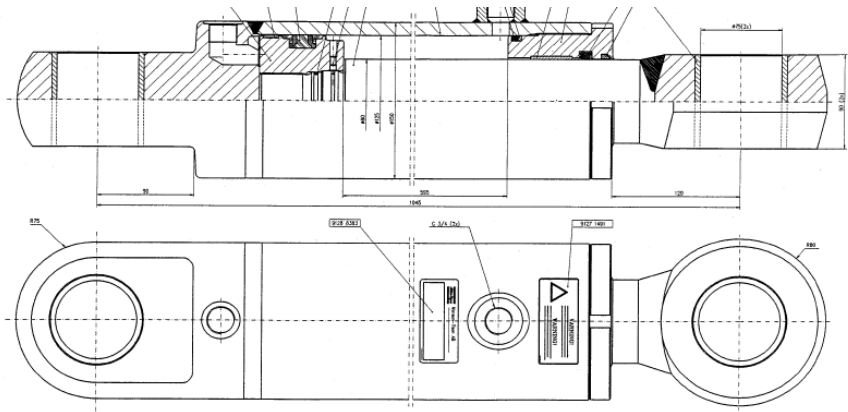
Fuente: Cosas interesantes a conocer sobre cilindros hidráulicos. ROEMHELD

Fig. 35. Representación de los Steerings



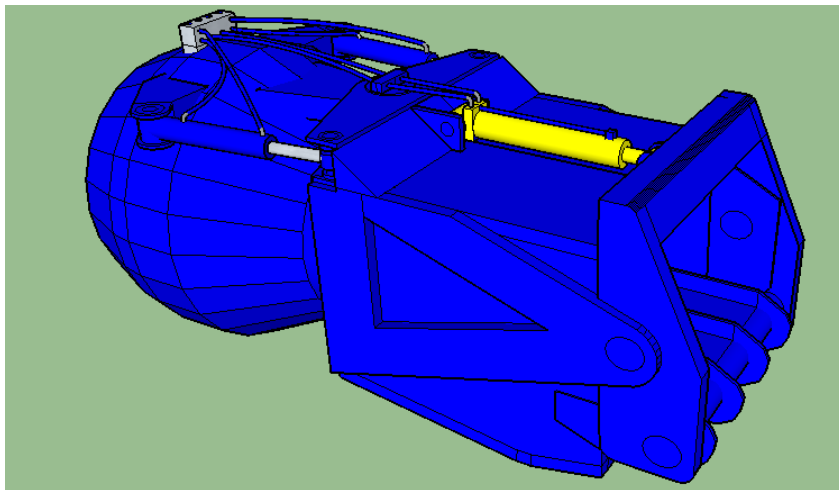
Fuente: diseño en 3D en Sketchup

Fig. 36. Plano del Steering



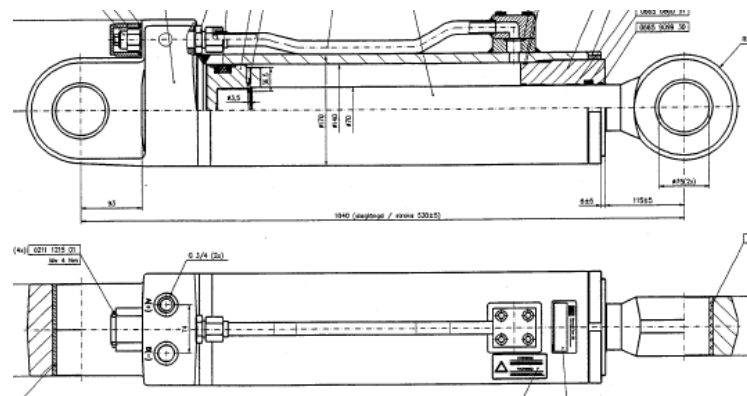
Fuente: Manual: LIPS drawings and partslists

Fig. 37. Representación del Bucket



Fuente: diseño en 3D en Sketchup

Fig. 38. Plano del Bucket

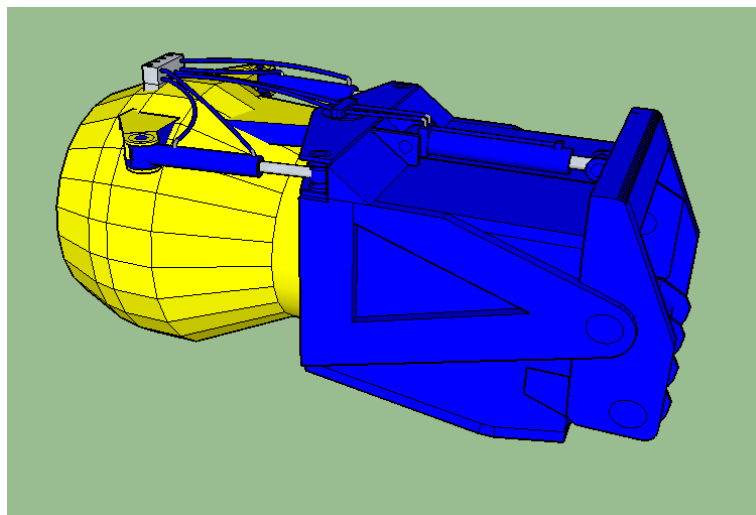


Fuente: Manual: LIPS drawings and partslists

5.2.2.3.2.-ESTATOR

Es la parte fija del waterjet, en ella se encuentran las palas directrices encargadas de orientar el chorro de agua hacia el jetavator una vez que el agua ha pasado por el impulsor de la bomba. Al disminuir progresivamente la sección se consigue que la energía potencial se convierta en energía cinética lo que producirá el avance del buque.

Fig. 39. Representación del Estator

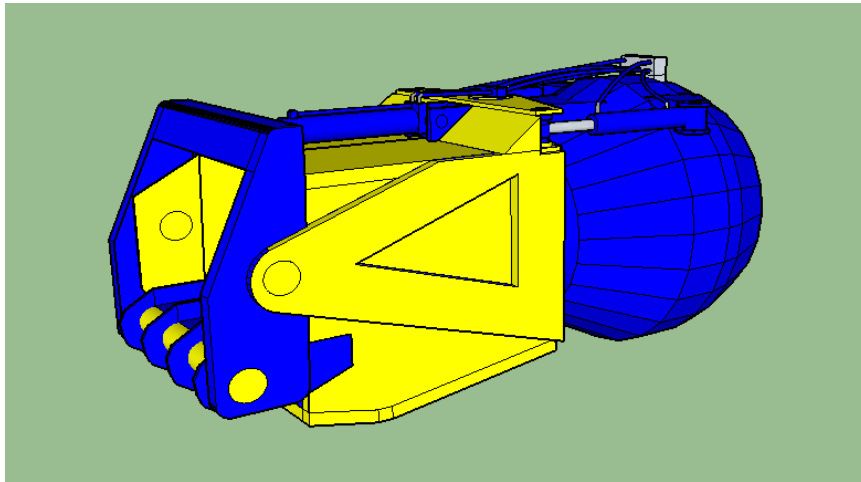


Fuente: diseño en 3D en Sketchup

5.2.2.3.3.-JETAVATOR

Es la parte móvil del waterjet, la encargada de orientar el chorro de agua. Es movida por los steerings hacia babor y estribor y a ella se encuentra sujeta la cuchara para revertir la marcha.

Fig. 40. Representación del Jetavator

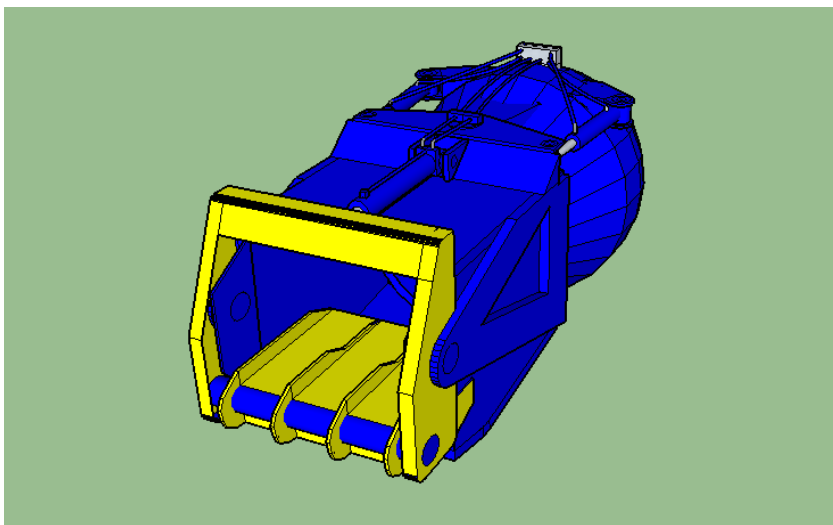


Fuente: diseño en 3D en Sketchup

5.2.2.3.4.-CUCHARA

Para revertir la marcha están la cuchara. El chorro de agua sigue bombeando de la misma manera, así que la bomba también, y lo único que se hace es colocar la cuchara de tal manera que revierta el sentido del chorro de agua, enviándolo hacia a proa y consecuentemente revirtiendo la marcha. Si la cuchara se coloca gradualmente delante de la tobera, se puede pasar de navegar adelante toda, a mantener el buque prácticamente quieto con la bomba funcionando a su potencia máximo.

Fig. 41. Representación de la Cuchara



Fuente: diseño en 3D en Sketchup

La posición cero empuje evita el barco se mueva cuando la bomba de chorro de agua empieza a dar un flujo. El bucket está equipado con una válvula de retención de carga o también llamada de contrabalance. Este dispositivo de seguridad impide que, en el caso de un fallo de la manguera, la placa inversa se mueva para atrás toda sin control.

5.2.2.4.-UNIDAD HIDRÁULICA Y ELECTRÓNICA DE CONTROL

La unidad de potencia hidráulica es conducida por una bomba PTO de la reductora del motor interior. A parte de esta bomba, dos bombas eléctricas son instaladas cerca del tanque de aceite. Estas bombas eléctricas pueden ser utilizadas para mover el jet cuando el motor no está en marcha y/o como seguridad en caso de fallo de la bomba hidráulica principal PTO. La unidad de potencia hidráulica está compuesta por:

- Bomba PTO Vickers PVH 131/141
- Dos bombas eléctricas Vickers PVH 57/63
- Tanque principal y reserva de aceite hidráulico
- Sensores
- Filtros
- Colector de válvulas de control
- Válvulas de contrabalance
- Enfriador

5.2.2.4.1.-BOMBA PTO Y BOMBAS ELÉCTRICAS

Se trata de bombas de la casa Vickers de pistones de desplazamiento variable, en el caso de la PTO, ésta va acoplada a la reductora del motor interior de cada banda y será la encargada de bombear el aceite hidráulico en condiciones normales de operación, excluyendo maniobra, donde será apoyada por las bombas eléctricas, ya que las revoluciones de la PTO son dependientes de las revoluciones a la que llevemos el motor interior.

Fig. 42. Vista de la Sala de Jets. Bomba PTO y bombas eléctricas



Fuente: trabajo de campo

Las bombas eléctricas se diferencian una de la otra debido a que una de ellas tiene refrigeración por aire del aceite hidráulico que pasa por ella mientras que la otra no. Apoyarán el circuito en caso de maniobra o en caso de emergencia y solo con ellas se podrá conseguir el 100% de respuesta del sistema.

Fig. 43. Bomba eléctrica



Fuente: trabajo de campo

Estas bombas, tanto las eléctricas como la PTO producen simplemente un caudal, en ningún momento generan presión, la presión se genera cuando el fluido bombeado encuentra una resistencia, ya sea en forma de pérdida de carga, fuerzas a vencer, etc.

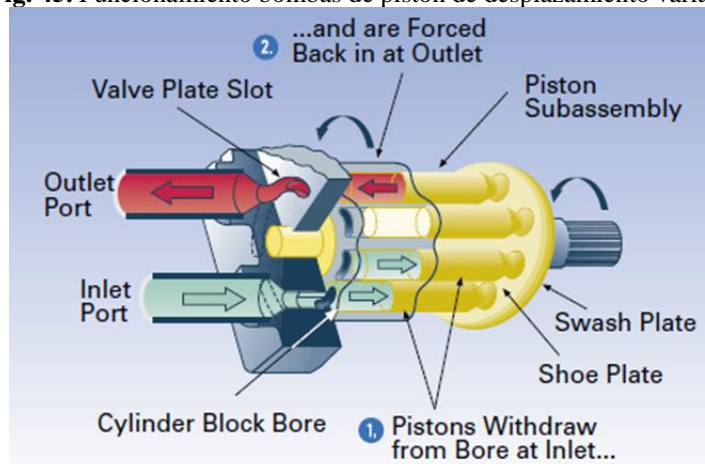
Fig. 44. Bomba PTO



Fuente: trabajo de campo

Las bombas de pistones axiales son de tipo volumétrico, es decir, generan un cierto caudal de aceite en cada rotación completa de la misma. Su principio de funcionamiento es simple, está basado en el movimiento axial, paralelo al eje de la bomba, producido por un pistón dentro de su alojamiento o cilindro en cada rotación de la bomba. Este desplazamiento se consigue mediante el deslizamiento de la base del pistón sobre una placa que permanece inclinada mientras el pistón gira, solidario con el eje de la bomba, alrededor del centro de la placa. El fluido a bombear llega a la bomba por el lado de baja presión que no es más que aquel sector en el que los pistones realizan la aspiración y es transportado hacia el lado de alta presión. Para aumentar la eficiencia de la bomba, suministrando más volumen por vuelta, la bomba se compone no de uno si no de varios pistones que simultáneamente bombean el fluido hidráulico en cada vuelta de la misma. [17]

Fig. 45. Funcionamiento bombas de pistón de desplazamiento variable



Fuente: Manual: Vickers PVH Piston Pump

Ahora bien, la cilindrada o volumen aportado por la bomba en cada vuelta está influenciada principalmente por el ángulo α de inclinación de la placa estacionaria. Cuanto mayor es éste mayor es el volumen desplazado por el pistón ya que su carrera será mayor. En caso de que la placa se encuentre totalmente vertical, es decir $\alpha = 0^\circ$, la bomba no aportará ningún caudal. Por tanto, podemos variar el caudal de aceite hidráulico simplemente variando el ángulo de inclinación de la placa estacionaria.

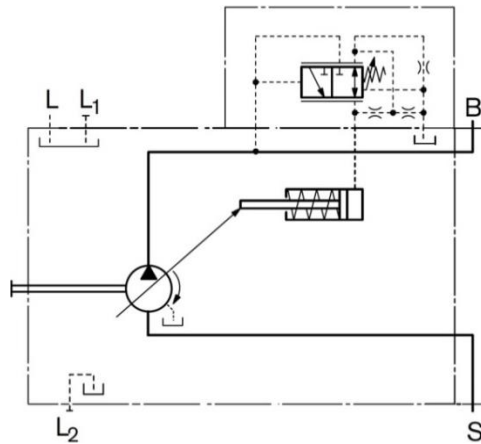
Para un determinado número de revoluciones del motor, el par de giro absorbido y por tanto la potencia absorbida aumenta con la diferencia de presión entre la entrada y la salida de la bomba.

Accionando la bomba, el eje dentado de accionamiento gira arrastrando el cilindro que a su vez gira arrastrando a los nueve pistones que hay en el interior de la bomba. Los pistones se apoyan mediante los patines de apoyo sobre la superficie de deslizamiento de la placa inclinada y son mantenidos y conducidos forzosamente sobre esta superficie mediante el llamado dispositivo recuperador. En una vuelta, cada pistón efectúa una carrera completa pasando por el punto muerto superior, momento en el cual comienza la zona de aspiración o baja presión y llegando al punto muerto inferior que es donde comienza la zona de alta presión. El fluido bombeado atraviesa las ranuras de la placa de mando hacia adentro en el lado de aspiración y hacia afuera en el lado de impulsión. La placa inclinada se desliza fácilmente por medio de dos apoyos laterales y es mantenida en la posición cero o posición vertical por medio de un resorte que la mantiene en esta posición hasta que un pistón de posicionamiento comandado hidráulicamente la inclina en función de la presión medida en el conducto de salida

El regulador de la PTO es de tipo hidráulico y se compone de una válvula 3/2 (3 vías, dos posiciones) proporcional y un pequeño cilindro hidráulico de simple efecto y retorno por muelle. Si la presión aumenta hasta valores cercanos a la presión máxima ajustada en la válvula hidráulica, ésta se desplazará hacia la derecha permitiendo el paso de aceite hacia el cilindro de simple efecto. El cilindro efectuará un determinado desplazamiento positivo llevando la placa inclinada hacia una posición cercana al punto cero (posición vertical) disminuyendo el caudal suministrado. Si esto no es suficiente y la presión sigue aumentando, alcanzará el valor máximo ajustado en el resorte del lado izquierdo de la válvula, este ajuste puede modificarse de manera externa y llevará a la placa inclinada a su valor cero, la bomba deja de suministrar caudal y la presión no sobrepasará el valor máximo. Cuando la presión a la salida de la bomba disminuye, el resorte de la válvula

desplaza a ésta hacia la izquierda, el cilindro de simple efecto comunica su cámara de presión con el tanque y produce un desplazamiento negativo, desplazando a su vez e inclinando la placa con lo cual aumentará el caudal suministrado. De esta forma se mantiene la presión de salida de la bomba, ajustada en el regulador, constante mediante la variación del caudal suministrado.

Fig. 46. Esquema electrohidráulico del regulador de la PTO

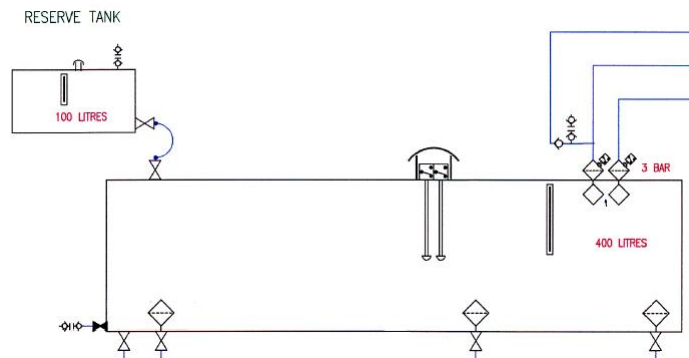


Fuente: Manual: Vickers PVH Piston Pump

5.2.2.4.2.-TANQUES DE ACEITE

Para el almacenamiento del aceite se utilizan dos tanques, uno con una capacidad de 400 litros que será el encargado de suministrar el aceite a las bombas hidráulicas; y otro de 100 litros que actuará como tanque almacén para el rellenado del tanque principal si fuera necesario. Tanto el tanque principal como el tanque almacén están provistos de mirillas para el control del nivel de aceite, pero solo en el tanque principal se dispondrá de sensores de nivel y temperatura que harán sonar la señal de alarma si se supera el valor de consigna que son 70°C y nivel mínimo del 85%.

Fig. 47. Esquema Tanques de aceite hidráulico



Fuente: Plano hidráulico de popa

5.2.2.4.3.-SENSORES

Como hemos dicho en el punto anterior, en el tanque principal encontramos dos sensores, uno de temperatura del fabricante BUHLER y otro de nivel de la casa OLAER. A parte de estos, en el colector antes del filtro encontramos presostatos STAUFF modelo DS307-240 tarados a 70 o 140 bar para controlar la presión de entrada en el colector de cada línea y la presión de salida del colector.

Fig. 48. Presostato Stauff



Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/stauff/>

5.2.2.4.4.-FILTROS

Se dispone de tres filtros de presión a lo largo del circuito, uno en el lado de alta presión y los otros dos en la línea de retorno justo antes de introducir nuevamente el aceite en el tanque principal. Se tratan de filtros HYDAC modelo RF BN/HC-330-F-10-C-1 que harán sonar la señal de alarma en el sistema si se supera los 5 bar de presión diferencial, si se trata del filtro del lado de alta presión, y los 3 bar si es en la línea de retorno.

Fig. 49. Colector con presostatos y filtro diferencial

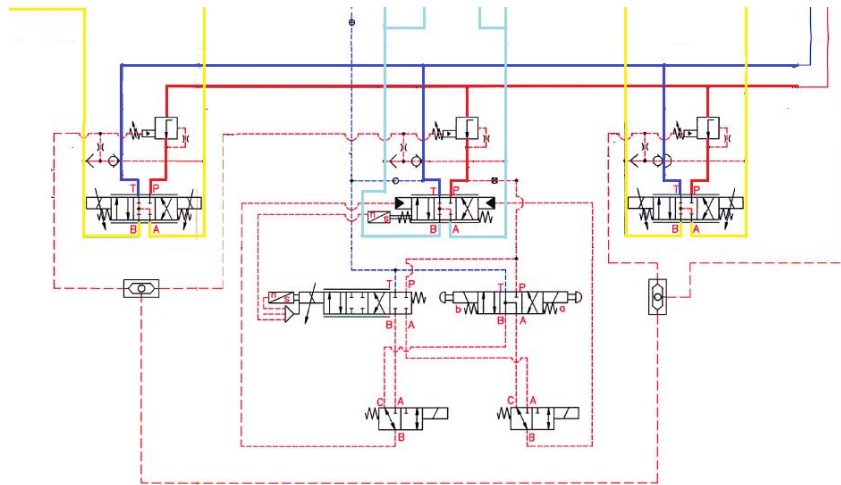


Fuente: Trabajo de campo

5.2.2.4.5.-COLECTOR VÁLVULAS DE CONTROL

Se trata de un colector que recibe el aceite tras el paso de este por el colector donde se encuentran los presostatos y el filtro de presión diferencial, y será el principal elemento de gobierno, a través de juegos de válvulas, del correcto funcionamiento del sistema waterjet. Con el controlamos el movimiento de los cilindros hidráulicos para ir babor-estribor y para ir avante-atrás. [18][19]

Fig. 50. Esquema hidráulico del colector de las válvulas de control



Fuente: Plano hidráulico de popa

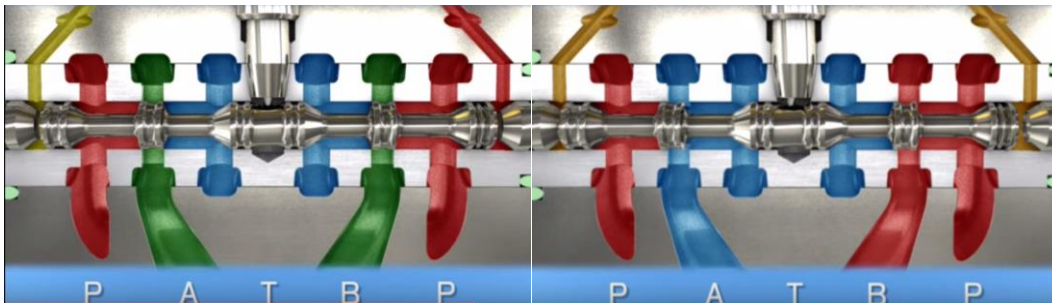
Esta compuesto por cinco válvulas que son:

- Válvulas proporcionales del Bucket (x2) y válvula proporcional del Steering (X1) con sus compensadores de presión correspondientes: se trata de válvulas pilotadas Bosch de 4/3 vías y dos posiciones que controlan el caudal hidráulico respecto al sentido y la cantidad. En el caso del steering se trata de válvulas pilotadas por un servo mientras las válvulas proporcionales del bucket están pilotadas por una solenoide.

El funcionamiento de las válvulas solenoide se basa en un electroimán que trabaja junto a un muelle diseñado para devolver a la válvula a su posición neutral cuándo el solenoide se desactiva. Al pasar una corriente eléctrica a través de la bobina, se genera un campo electromagnético de cierta intensidad en el interior. Un émbolo metálico es atraído por la fuerza magnética hacia el centro de la bobina, lo que proporciona el movimiento necesario para accionar la válvula. La válvula se puede abrir o cerrar, no hay termino medio, por lo que no se puede utilizar este sistema para regulación de flujos.

En el caso de la válvula proporcional que controla los steering, su funcionamiento es un poco más complejo que en caso de las válvulas de solenoide simple. Inicialmente las dos bobinas de la válvula piloto están desexcitadas por lo que el circuito está cerrado por la falta de diferencia de presión. Cuando se excita las bobinas se produce el campo electromagnético que hace que se desplace el carrete y dependiendo de la intensidad de este en cada bobina se desplazará el carrete dentro de la válvula para darle una dirección al flujo. Así dependiendo en qué punto se encuentre el distribuidor o carrete, hará que los jetavator vayan a babor o estribor. El flujo de salida o la velocidad del accionador controlado se mide y se utiliza como retroalimentación para controlar la posición del carrete. [20][21]

Fig. 51. Funcionamiento válvula servopilotada



Fuente: www.youtube.com/servoalve

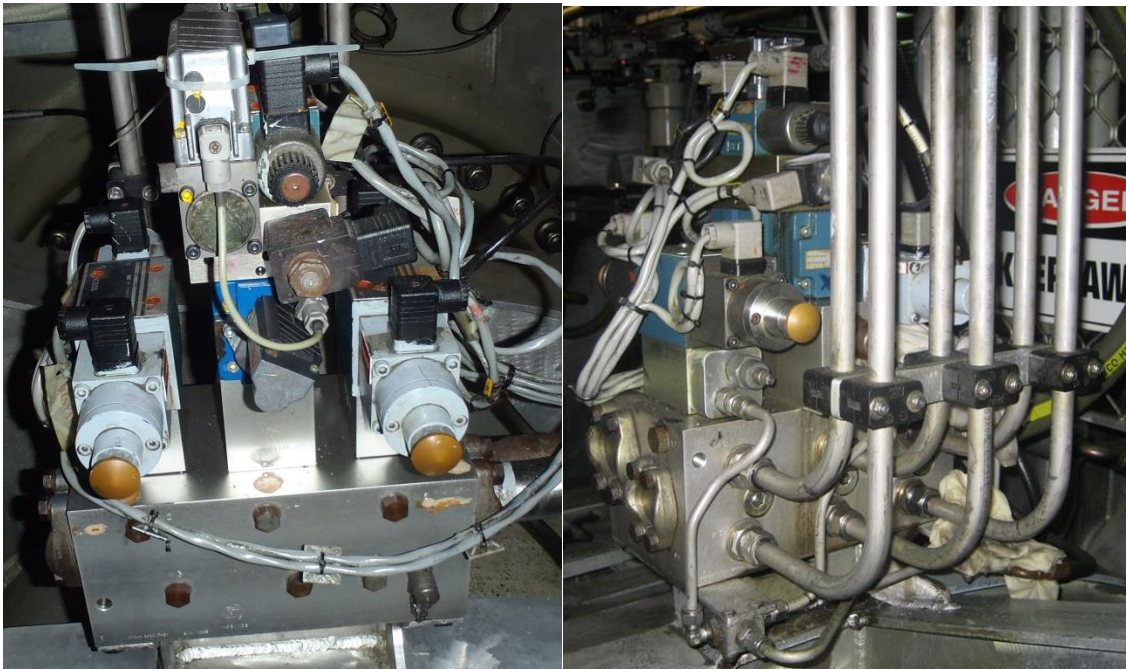
- Válvula de control direccional con actuador manual: se utiliza esta válvula para poder operar de forma manual el circuito en caso de fallo de la válvula pilotada principal de los steering. Su funcionamiento es sencillo, ya que funciona igual que las válvulas anteriores con la salvedad que se actuará de forma manual sobre los pulsadores para determinar la posición del carrete dentro de la válvula. Según el pulsador sobre el que se actúe los steering irán a babor o estribor.
- Válvula solenoide tipo cartucho: son las encargadas de conectar la válvula de control direccional con actuador manual con la válvula pilotada de los steering. Gracias a esta, la válvula se abre debido a la presión hidráulica que le llega, funcionando como normalmente lo haría en condiciones normales.

Fig. 52. Válvula solenoide tipo cartucho



Fuente: www.directindustry.com

Fig. 53. Colector de válvulas de control



Fuente: Trabajo de campo

5.2.2.4.6.-VÁLVULAS DE CONTRABALANCE

Las válvulas de contrabalance están situadas en el circuito, entre el colector de válvulas de control y la salida de cada cilindro hidráulico. Esta válvula sirve como resistencia hidráulica a los Steerings y al Bucket de cada waterjet y también ayuda a mantener la posición de estos.

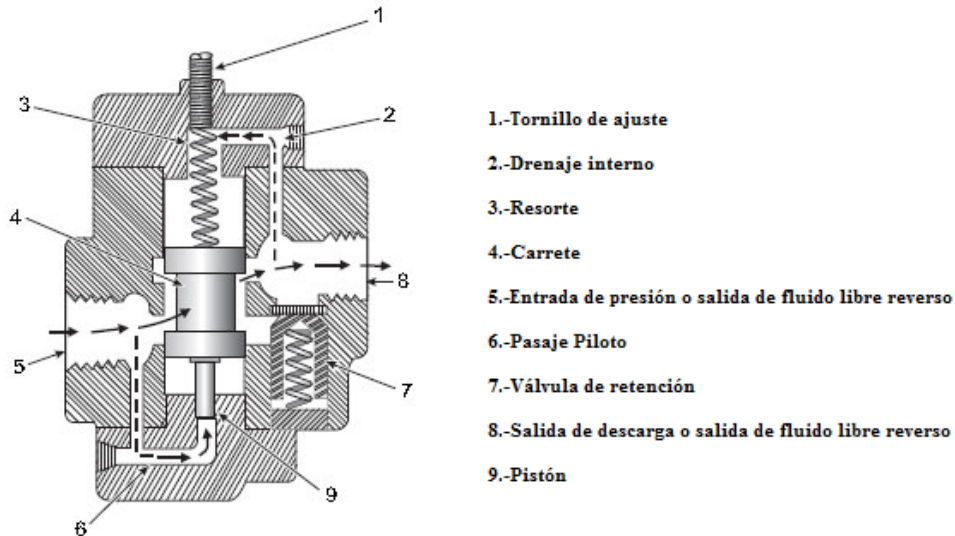
La válvula se compone de un carrete equilibrado, que consiste en dos pistones fijados permanentemente en cualquier extremo de un eje. El área de dicho eje entre los dos pistones proporciona el área para que el líquido fluya cuando la válvula está abierta.

Cuando la válvula está en posición de cerrada, el pistón superior del carrete bloquea el puerto de descarga. Con la válvula cerrada, el líquido fluye hacia la entrada de la válvula pero al no poder atravesarla, el fluido pasa por el paso piloto hacia el pequeño pistón piloto. A medida que la presión aumenta, ésta actúa sobre el pistón piloto hasta que supera la presión de reglaje del resorte. Esto hace que el carrete de la válvula se desplace, permitiendo así que el aceite hidráulico fluya alrededor del carrete y se descargue hacia la salida de la válvula.

Durante el flujo inverso, el fluido entra por lo que antes era el puerto de descarga. El resorte fuerza el carrete de la válvula hacia la posición de cerrada. La presión del líquido

supera la tensión del resorte de la válvula de retención y la abre, permitiendo el libre flujo alrededor del eje del carrete de válvula hacia el puerto antes de entrada.

Fig. 54. Partes de la válvula de contrabalace



Fuente: http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica31.htm

5.2.2.4.7.-ENFRIADOR

Se trata de un enfriador de carcasa y tubos DYNACOOOL que trabaja con dos fluidos diferentes como son el aceite hidráulico y el agua de mar, por lo que debe ser bastante resistente a la acción corrosiva de esta y aguantar grandes presiones. Se encuentra situado en la parte alta de la sala de jet, en el recorrido de retorno del aceite hidráulico y la entrada de agua salada se efectúa directamente tomandola de impulsor de la bomba del waterjet. La carcasa puede aguantar hasta 17 bar de presión mientras que los tubos interiores trabajan hasta con 10 bar y su temperatura máxima de trabajo es de 175°C siempre que no haya un diferencial de temperatura entre el fluido caliente y el fluido frío de más de 80°C.

Fig. 55. Enfriador aceite hidráulico/agua



Fuente: Trabajo de campo

5.3.-MANTENIMIENTOS A BORDO DEL SISTEMA DE GOBIERNO

5.3.1.-MANTENIMIENTO PREDICTIVO

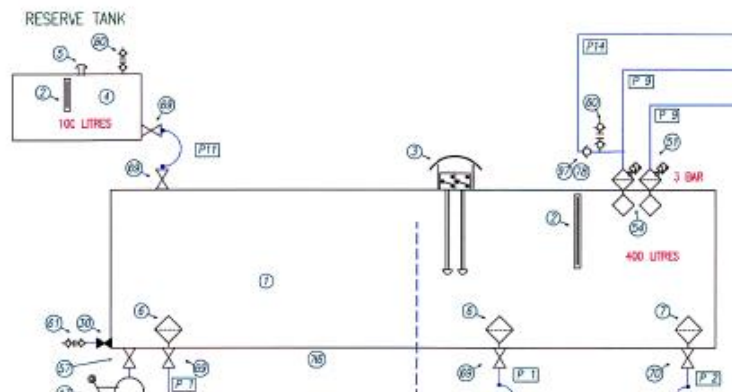
A continuación, veremos algunos de los casos de mantenimiento predictivo que se practican a bordo. Su importancia radica en el poder que tienen estos mantenimientos para evitar o predecir averías en los equipos y elementos del sistema.

5.3.1.1.-ANÁLISIS DE ACEITE HIDRAULICO

A través de esta sencilla prueba, podemos detectar posibles fallos en bombas, válvulas y otros elementos, así como evitar fallos del sistema hidráulico de popa por la mala composición del aceite, como presencia excesiva de metales o agua.

Para dicha prueba, hay que realizar un muestreo de cada sistema hidráulico. Este muestreo se hará directamente del tanque de aceite a través de una conexión situada en uno de los costados del tanque.

Fig. 56. Tanques de aceite hidráulico



Fuente: Plano hidráulico de popa

Una vez recogidas las pruebas, se envían a un laboratorio externo, en este caso el laboratorio del proveedor CASTROL. Al cabo de una semana se reciben los resultados y se observan los parámetros. Como se puede ver en los siguientes resultados, los parámetros pueden aparecer con un stick verde (normal), lo que indica que el parámetro obtenido está dentro de los límites establecidos; una exclamación de color naranja (marginal) que indica que los parámetros distan de lo ideal y nos advierten para que vigilemos el aceite porque puede empeorar su estado; y por último el aspa roja (critical) que indica un fallo grave en la composición del aceite lo que puede poner en riesgo de avería el circuito hidráulico y sus elementos.



TECHNICAL DEPARTMENT

POLIGONO INDUSTRIAL DE AZAÑA S/N
38109 SANTA CRUZ DE TENERIFE
SPAIN

CAREMAX™ OIL MONITOR

MACHINE UNIT/LOCATION

WATERJET - HYDRAULIC/PA

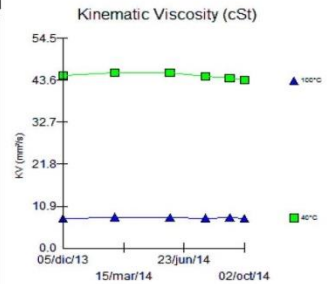
mv/ss BENTAGO EXPRESS

IMO	9213337	Customer Code	005250Z
Make	MISC	Sample Code	MQ005604
Model	RIMS	Sample Taken	02-oct-2014
Lubricant Schedule	HYSPIN AWH-M 46	Received	27-oct-2014
Lubricant In Use	HYSPIN AWH-M 46	Report Date	02-nov-2014
Port Landed		Total Machine Hrs	
Sample Point	HYDR. WATERJET, PORT AFT	Lubricant Hours	
Machine Usage	HYWTJ	Label Ref.	

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 neither water nor mineral acidity. Wear metal contents are in acceptable levels. . Elemental analysis is provided for trending purposes - take note of any large change in values.

Sample Ref.	02-oct-14 MQ005604	07-sep-14 MQ005346	29-jul-14 MQ005093	31-may-14 MQ004494	01-mar-14 MQ003767	05-dic-13 MP005977
Lubricant Hours		2934	2434			
Rating	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Colour	YELLOW	YELLOW	YELLOW	YELLOW	YELLOW	YELLOW
Condition	CLEAR	CLEAR	CLEAR	CLEAR	CLEAR	CLEAR
BN (mgKOH/g)					0,46	
AN (mgKOH/g)	0,52	0,63	0,49	0,57		0,7
Water (%vol)	0,03	0,03	< 0,05	0,04	< 0,05	0,06
KV@40°C (cSt)	43,63	44,15	44,7	45,59	45,62	44,89
KV@100°C (cSt)	7,74	7,89	7,82	8	8,06	7,76
Viscosity Index	148	151	146	148	150	142
Elements (ppm)						
Aluminium (Al)	1	1	1	1	1	1
Chromium (Cr)	1	2	1	1	1	1
Copper (Cu)	5	9	16	14	12	9
Iron (Fe)	1	3	1	1	2	1
Lead (Pb)	1	1	1	1	1	1
Nickel (Ni)	1	1	1	1	1	1
Silicon (Si)	3	3	1	1	4	1
Sodium (Na)	28	6	14	2	12	26
Vanadium (V)	1	1	1	1	1	1



From:
Spain
Tel:
eMail:

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

The analysis results and recommendations set out in this report are based on the tests performed on the relevant sample. Which tests we perform depends on how the sample was labelled, any other description given to us of its use and any other instructions received from you.

NB: Customers should ensure that they inform us promptly of any changes to their contact details (email, telephone, postal address and/or contact names). If the contact details we hold for you are not accurate, you may not receive critical sample notifications promptly, or at all.



TECHNICAL DEPARTMENT

CAREMAX™ OIL MONITOR

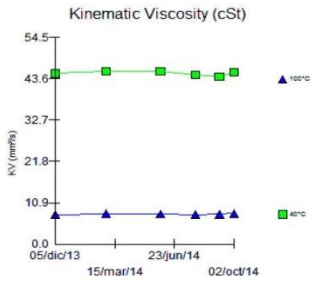
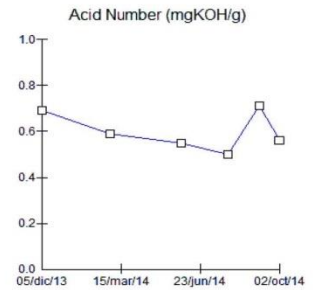
POLIGONO INDUSTRIAL DE AZAÑA S/N
38109 SANTA CRUZ DE TENERIFE
SPAIN

MACHINE UNIT/LOCATION
WATERJET - HYDRAULIC/SA

mv/ss BENTAGO EXPRESS

IMO	9213337	Customer Code	005250Z
Make	MISC	Sample Code	MQ005605
Model	RIMS	Sample Taken	02-oct-2014
Lubricant Schedule	HYSPIN AWH-M 46	Received	27-oct-2014
Lubricant In Use	HYSPIN AWH-M 46	Report Date	02-nov-2014
Port Landed		Total Machine Hrs	
Sample Point	HYD.WATERJET,STARBOARD AFT	Lubricant Hours	
Machine Usage	HYWTJ	Label Ref.	

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 neither water nor mineral acidity. Wear metal contents are in acceptable levels. . . Elemental analysis is provided for trending purposes - take note of any large change in values.



Sample Ref.	02-oct-14 MQ005605	07-sep-14 MQ005347	29-jul-14 MQ005094	31-may-14 MQ004495	01-mar-14 MQ003768	05-dic-13 MP005978
Lubricant Hours		2547	2047			
Rating	✓	✓	✓	!	✓	✓
Colour	YELLOW	YELLOW	YELLOW	YELLOW	YELLOW	YELLOW
Condition	CLEAR	CLEAR	CLEAR	CLEAR	CLEAR	CLEAR
AN (mgKOH/g)	0,56	0,71	0,5	0,55	0,59	0,69
Water (%vol)	0,03	0,03	< 0,05	0,06	< 0,05	0,05
KV@40°C (cSt)	45,34	44,1	44,71	45,59	45,65	44,97
KV@100°C (cSt)	8,11	7,87	7,82	8,01	8,05	7,8
Viscosity Index	154	150	146	149	150	144
Elements (ppm)						
Aluminium (Al)	1	2	1	1	1	1
Chromium (Cr)	1	3	1	1	1	1
Copper (Cu)	9	54	54	39	18	10
Iron (Fe)	1	7	3	2	2	1
Lead (Pb)	1	1	1	1	1	1
Nickel (Ni)	1	1	1	1	1	1
Silicon (Si)	2	3	1	1	3	1
Sodium (Na)	4	> 200	> 200	> 200	46	46
Vanadium (V)	1	1	1	1	1	1

From:
Spain
Tel:
eMail:

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

The analysis results and recommendations set out in this report are based on the tests performed on the relevant sample. Which tests we perform depends on how the sample was labelled, any other description given to us of its use and any other instructions received from you.

NB: Customers should ensure that they inform us promptly of any changes to their contact details (email, telephone, postal address and/or contact names). If the contact details we hold for you are not accurate, you may not receive critical sample notifications promptly, or at all.

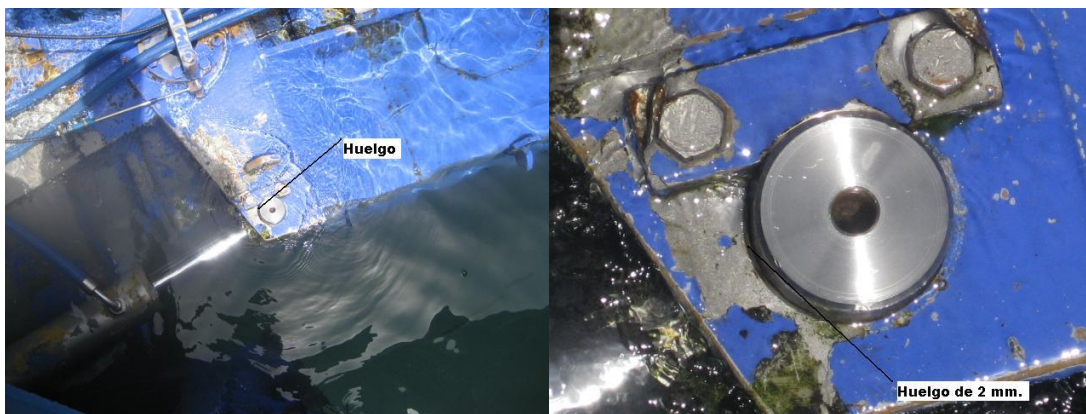
5.3.1.2.-COMPROBACIÓN DE LOS HUELGOS DE LOS BULONES.

La comprobación de los huelgos es una acción muy común a bordo y se trata de medir mediante un elemento denominado galgas el juego que tiene en este caso un bulón del steering del waterjet más a estribor.

Este huelgo se produce por la pérdida de material del bulón o del elemento de desgaste intermedio, debido a la fricción que se produce al dirigir el chorro de agua para conseguir el gobierno del buque.

En este caso en particular al hacer la comprobación se observa un huelgo de 2mm lo que advierte al jefe de máquinas del estado del bulón. Sabiendo el estado de bulón, se puede planificar un cambio del mismo con el fin de evitar una avería que deje inoperativo dicho steering. Con el fin de optimizar la operación de cambio, se mantiene el bulón hasta el cambio completo del steering y sus bulones.

Fig. 57. Huelgo en el bulón del steering



Fuente: Trabajo de campo

5.3.1.3.-INSPECCION DE LA CUCHARA

A la vez que se inspeccionan los ánodos y otros elementos del waterjet, se realiza la inspección de la cuchara que se encarga de revertir el flujo para dar a atrás. Esta inspección consta de dos partes, una parte “visual” en la que se observa el estado físico de la pala, así como las incrustaciones que presenta y otros imperfectos; y de otra parte en la que se comprueba el huelgo que tiene la cuchara respecto a la tobera. Esta operación se realiza conjuntamente entre los operarios de tierra y los submarinistas. Se trata de un elemento primordial para el gobierno del buque por lo que si se observa algún imperfecto importante debe ser reparado con urgencia. Viendo estas características se pudo planificar el cambio de la cuchara si fuera necesario.

5.3.2.-MANTENIMIENTO PREVENTIVO

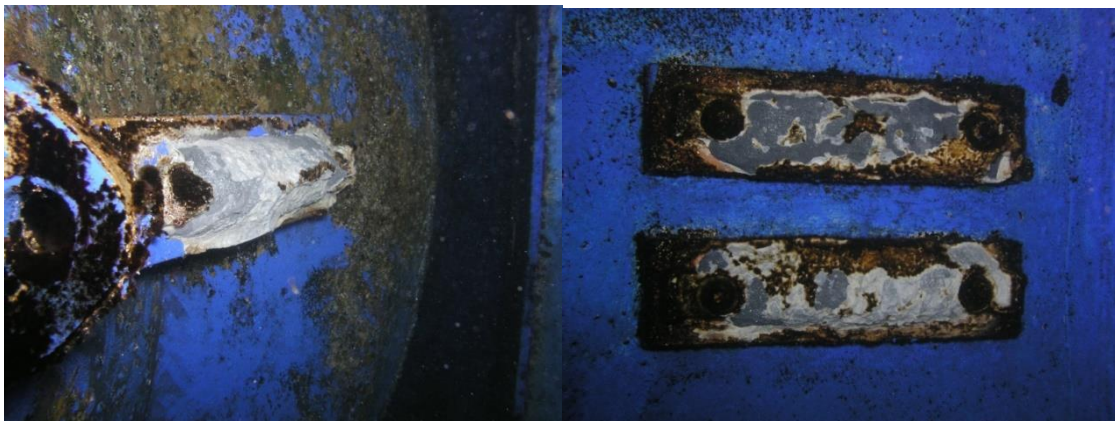
Es el mantenimiento más habitual a bordo de este tipo de buques, ya que se reducen los casos de averías por fallos de los equipos. Se suelen realizar por horas de funcionamiento, y los más comunes son los que se explican a continuación.

5.3.2.1.-COMPROBACIÓN DE LOS ÁNODOS DE SACRIFICIO.

Esta comprobación se realiza por parte de un equipo de submarinistas, los cuales inspeccionan los elementos del waterjet sumergidos. Inspeccionan el exterior de la tobera y del estátor, el interior de la tobera, el eje y las palas de la hélice ya que cualquier fallo en estos elementos puede producir una disminución en la productividad del sistema propulsivo y de gobierno.

Los ánodos de sacrificio son de gran importancia ya que impiden que la corrosión ataque el waterjet y sus elementos. Esto se debe a que los ánodos tienen un potencial de reducción menor, es decir se corroen con más facilidad que el elemento a proteger. En el caso de estos ánodos, se trata de ánodos de zinc que es uno de los elementos más usados para proteger catódicamente frente a la corrosión del acero del que están hechos estos elementos. La elección del material debe hacerse con cuidado ya que una mala selección de este puede hacer que produzcamos todo lo contrario en el sistema haciendo acelerar la corrosión del acero. En las siguientes imágenes podemos observar el estado de los ánodos en una inspección, se trata de los ánodos colocados en el exterior del estátor, en el exterior de la tobera y entre los dos waterjet de una banda por su parte inferior.

Fig. 58. Ánodos de sacrificio del Jet



Fuente: Trabajo de campo

5.3.2.2.-ENGRASE DE LOS CILINDROS HIDRÁULICOS

Es un trabajo que se hace a diario a bordo y tiene como fin la lubricación de los pistones hidráulicos del waterjet para su correcto funcionamiento. La grasa se suministra con el engrasador a través de los puntos de engrase situados sobre los waterjet a ambas bandas.

Un incorrecto engrase puede hacer que los pistones tengan un exceso de fricción, aumentando su temperatura y reduciendo las horas de funcionamiento a las que puede llegar si su mantenimiento es correcto.

Fig. 59. Operario engrasando los cilindros hidráulicos



Fuente: Trabajo de campo

5.3.2.3.-CAMBIO DEL JETAVATOR E INSPECCIÓN SUS ELEMENTOS:

Se trata de una operación que tiene como fin evitar el mal funcionamiento o la avería de la tobera orientable del waterjet, inspeccionando el jetavator, sus elementos de unión con el estator, las partes móviles y los ánodos de sacrificio.

Antes de comenzar con la operación, se debe planificar la maniobra de extracción del jetavator, así como las condiciones de seguridad a llevar a cabo para realizar el trabajo en un ambiente seguro tanto para los operarios, como para los elementos con los que estamos trabajando.

Lo primero que debemos hacer para comenzar con el trabajo, es quitar el fender, que es una protección que tiene el buque sobre los waterjets con lo que permitiremos la extracción del elemento a inspeccionar. Mediante herramientas manuales aflojaremos el fender y con la grúa situada en la rampa de acceso al garage lo llevaremos hasta una zona segura en puerto.

A continuación deberemos retirar los latiguillos que llevan presión hidráulica al bucket. Para ello debemos ir previamente a la sala de jet y actuar sobre la válvula de compensación de presión para liberar así la presión de la línea. Con esto haremos que la presión caiga y el pistón hidráulico quede totalmente extendido.

Fig. 60. Jetavator



Fuente: Trabajo de campo

Una vez retirado los latiguillos, procedemos a separar los steering del jetavator. Hay que quitar previamente las chapas de retención que esconden tras de sí los tornillos del bulón, aflojarlos y se procede a la extracción del bulón.

Mediante el mismo proceso, debemos quitar el elemento que hace solidario los dos waterjets.

Para hacer la maniobra de extracción del jetavator debemos servirnos de varios diferenciales que engancharemos en los cáncamos ya dispuestos en el jet, y de la grúa. Antes de quitar los bulones de unión con la parte fija del jet, con la grúa se dará tensión a la sujeciones lo que facilitará el desmontaje.

Fig. 61. Jetavator sujeto por diferenciales



Fuente: Trabajo de campo

V.-RESULTADOS

La operación en estos momentos se hará simultáneamente entre el equipo de tierra y el equipo de submarinistas. Los buzos se encargarán del desmontaje del bulón inferior, mientras el equipo de noche sacará el bulón superior.

Fig. 62. Operario extrayendo el casquillo de unión del Jetavator



Fuente: Trabajo de campo

Con esto el jetavator queda libre y se puede proceder a ponerlo en una zona adecuada para su inspección.

Fig. 63. Jetavator en suspensión



Fuente: Trabajo de campo

Se revisan los bulones, así como como sus alojamientos y los elementos de desgaste en estos; las partes móviles como la cuchara; en que estado están los ánodos de sacrificio y el estado interior y exterior de la tobera.

En este caso, el responsable de la inspección observa un gran deterioro en el bulón superior por alta temperatura, que es debido a un exceso de fricción con su alojamiento. Se observa que esto es debido al estado en el que se encuentra el elemento de desgaste, que ha perdido mucho material dejando un gran huelgo con el bulón. Como solución se colocará un elemento nuevo de desgaste y un nuevo bulón que hay de respeto en puerto.

Fig. 64. Casquillo y elementos de desgaste



Fuente: Trabajo de campo

Fig. 65. Elemento de desgaste dañado

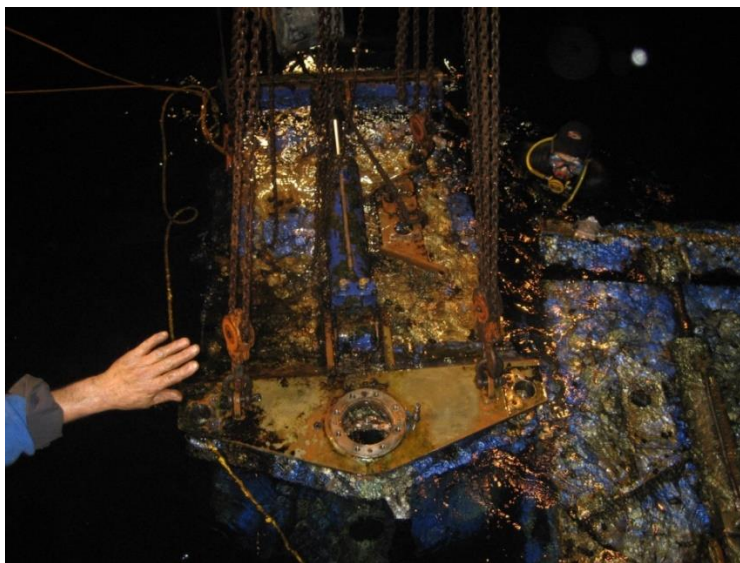


Fuente: Trabajo de campo

A parte de esto, se observa que hay incrustaciones en el interior y exterior de la tobera lo que puede reducir la eficiencia del propulsor. Por ello se dispone el operario a preparar y limpiar el jetavator para dejarlo en unas condiciones óptimas para de nuevo montarlo.

Para su montaje hay que tener gran coordinación entre el equipo de submarinistas y el equipo de tierra, ya que la operación debe ser precisa para llevar el jetavator a su sitio. Una vez en su sitio la operación es inversa a la del desmontaje.

Fig. 66. Jetavator para su colocación



Fuente: Trabajo de campo

5.3.2.4.-CAMBIO DE WATERJET A FLOTE

Se realiza esta operación cuando por horas, debemos cambiar el estator y la tobera orientable que conforman el waterjet. Es una operación compleja debido a que debe tenerse una gran compenetración entre todo el personal que conforme la operación. Se debe contar con dos buzos que apoyen la operación desde el agua, con una grúa que será la encargada de llevar el waterjet hasta el garage y de numerosos diferenciales, así como cancamos, estrobos, eslingas y útiles específicos.

Lo primero, una vez hecha la planificación de la maniobra y asegurado las condiciones de seguridad para los equipos y el personal, es incomunicar el sistema desde la sala de Jet cerrando la entrada y salida y abriendo el bypass para que recircule el aceite hidráulico.

Se llenarán los void 1 de babor y estribor hasta el primer tecele con agua salada para aproa el barco y facilitar la operación. Tras esto hay que desconectar el tramo del Fender situado sobre los waterjets.

Llegados a este punto, se procedería a la extracción de los bulones del cilindro que hace solidario los waterjets de la misma banda y se desconectaría los cables feedback que dan la posición exacta en la que se encuentra el waterjet.

Fig. 67. Waterjet a flote



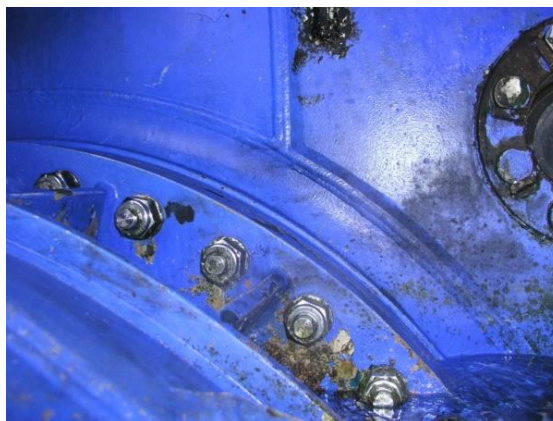
Fuente: Trabajo de campo

A continuación, se desconectan las cuatro mangueras que van desde el manpapo hasta el jet solo en el lado de jet y se colocan los tapones a la mangueras. Se realiza lo mismo con la manguera de refrigeración, se desconecta del lado de jet y se coloca el tapón para evitar que agua salada se introduzca en el.

Tras esto, los buzos se encargarán de colocar una araña para la sujeción del eje y el personal de tierra colocará los frenos al eje en la sala de Jet.

Se aflojan las 40 tuercas con las que está unido el jet al casco, dejando tres en la parte alta para el final, y se aflojan también los 4 tornillos tapones de las guías de montaje.

Fig. 68. Tuercas de unión Waterjet-casco



Fuente: Trabajo de campo

Se engancha al gancho de la grúa un estrobo con un pulpo sobre el que colocaremos 4 diferenciales de 3200 kg y se coloca otro diferencial en el muelle para tirar del waterjet. Una vez enganchados al Jet, se sueltan las tres tuercas que están en la parte superior uniendo el mamparo con el jet y comienza la extracción de este con la grúa hasta colocarlo sobre el muelle.

El nuevo waterjet, se instala a la inversa, apretando las 40 tuercas de fijación del jet al mamparo a 870 Nm.

5.3.2.5.-CAMBIO DE BUCKET

Se trata de una operación de mantenimiento que se hace normalmente por horas de funcionamiento, para evitar que por una avería quede inutilizado dicho piston hidráulico, que recordemos es el encargado de hacer que la cuchara actúe desviando el chorro de agua, permitiendonos ir adelante o a atrás.

Lo primero antes de empezar con la sustitución del bucket, es preparar la zona de trabajo, así como la herramienta a utilizar y los dispositivos que utilizaremos para la extracción del pistón.

Se colocará una viga metálica sobre el defender que nos servirá de sujeción para los diferenciales con los que subiremos el cilindro. Además, se colocará en el cilindro un útil diseñado para enganchar los diferenciales para facilitar su retirada.

Fig. 69. Operarios montando la zona de trabajo



Fuente: Trabajo de campo

Para comenzar la operación, previamente hay que cerrar el circuito para evitar pérdidas de aceite hidráulico. Para ello debemos cerrar las valvulas de corte de las que disponemos en

la sala de jet. A continuación, se desconectan las mangueras que llevan el aceite hidráulico hasta el bucket.

Tras asegurar la operación, con los diferenciales sujetando el bucket y ya con el circuito cerrado, se dispone a la retirada de los casquillos que lo unen a la cuchara y a la tobera orientable. Se retiran los seguros que mantienen los casquillos en su sitio y mediante un utensilio de madera se sacan los pasadores dejando así el cilindro libre.

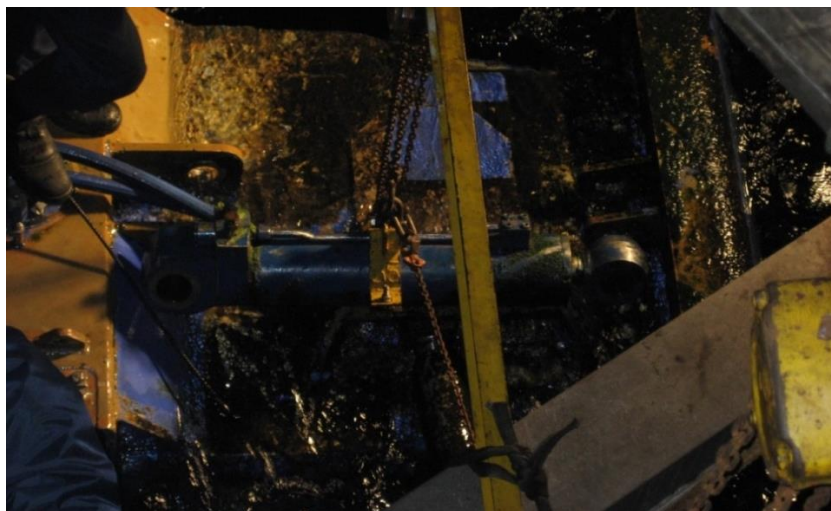
Fig. 70. Operarios retirando el bulón del bucket.



Fuente: Trabajo de campo

Una vez este el cilindro libre, se procede a la extracción de este mediante los diferenciales montados en la viga transversal. Se subira en un principio verticalmente hasta casi el defender, para evitar que el balanceo pueda dañar otro elemento próximo; y tras esto se enganchará otro diferencial para atraerlo hasta la cubierta de garage para su inspección.

Fig. 71. Extracción del Bucket



Fuente: Trabajo de campo

Ya con los elementos retirados en el garage, se procede a una inspección visual de estos, buscando posibles grietas en el cilindro hidráulico, excesivo desgaste de los casquillos, etc. Este cilindro ya retirado se mandará a un taller especializado para su puesta a punto, su lijado, pintado y pruebas con líquidos penetrantes en busca de posibles grietas.

Fig. 72. Bucket en inspección en garage



Fuente: Trabajo de campo

Para la colocación del nuevo bucket, se realizará la operación contraria. Se le pondrá el útil para engancharlo a los diferenciales, se llevará hasta su posición y se colocarán los casquillos nuevos para hacerlo fijo y los latiguillos hidráulicos. Una vez colocado, se realizarán las pruebas pertinentes para asegurarnos de que funciona correctamente y que no se producen fugas

5.3.3.-MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Por último se expondrán dos casos de mantenimiento correctivo. Como vemos en los dos casos, son averías que no se pueden predecir ni evitar mediante los otros dos tipos de mantenimiento.

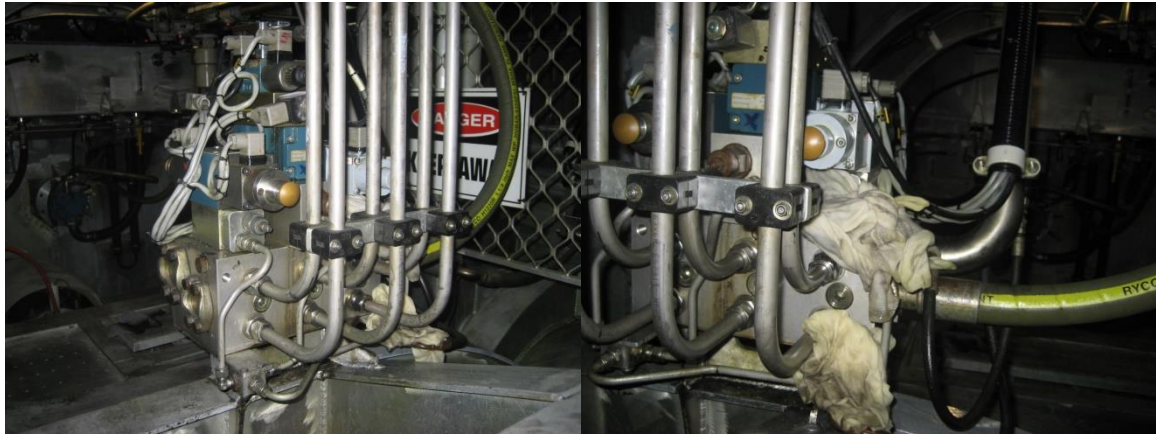
5.3.3.1.-PÉRDIDA EN EL SISTEMA DE GOBIERNO DE EMERGENCIA

Aunque no se trata de una avería grave del sistema de gobierno, puede poner en grave riesgo la seguridad del buque si falla el sistema de gobierno principal por lo que la reparación de este debe realizarse en la mayor brevedad posible.

Dicha avería se observó en una ronda de inspección de la sala de jet en la que al bajar se observa en el colector de válvulas de control una pérdida de líquido hidráulico y la zona cercana impregnada de este.

Tras limpiar la zona con paños, se observa que la pérdida proviene de la válvula de emergencia del bucket que se encargaría de mover estos de forma manual si fuera necesario por un fallo en el sistema.

Fig. 73. Pérdida en el colector de válvulas de control

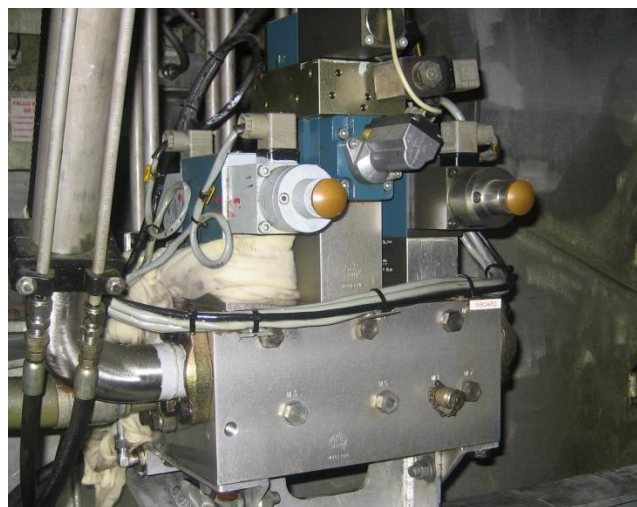


Fuente: Trabajo de campo

La pérdida se produce entre el cuerpo de la válvula y los conductos que trasiegan el aceite hidráulico.

Para realizar dicho cambio, primero debemos asegurarnos de que existe una válvula así de respeto. Tras realizar este paso se procederá, una vez que el barco este en puerto, a su retirada. Para ello debemos actuar sobre las válvulas de corte que se encuentran aguas arriba y abajo de la válvula. A continuación, debemos colocar un recipiente para la recogida de aceite hidráulico que se perderá en el momento de la retirada de la válvula.

Fig. 74. Pérdida en la válvula manual del control del Bucket



Fuente: Trabajo de campo

Se desconecta los compensadores de presión de la válvula y se desatornilla la valvula del bloque hidráulico. Tras esto se reemplaza la valvula dañada por la nueva y se pone el circuito en funcionamiento. Al hacerlo se comprueba que la pérdida ha sido eliminada y que el circuito funciona correctamente por lo que el problema se ha resuelto. En los siguientes días se procederá a la revision de la válvula para ver si se producen nuevas fugas.

5.3.3.2.-ROTURA PTO PIME

Estando en navegación, salta la alarma por baja presión en el circuito hidráulico de popa. Tras esto, como medida para volver a tener gobierno en los waterjets y en el estabilizador de babor se arrancan las bombas eléctricas de las que se dispone, y se realiza una inspección en la sala de jets para saber el motivo de la pérdida de presión hidráulica.

Al hacer la inspección se descubre que la PTO no esta en funcionamiento, así que hasta llegar a puerto debe navegarse con las bombas eléctricas, teniendo especial cuidado en la maniobra ya que estas no son capaces de entregar el 100% de la respuesta que requiere el sistema.

Ya en puerto, se baja a la sala de jets para hacer pruebas y buscar la avería. Aún con el motor embragado, la PTO sigue sin dar respuesta, por lo que se sospecha que el fallo debe estar en el accionamiento de dicha bomba.

Fig. 75. Eje conductor de la PTO



Fuente: Trabajo de campo

Al ir a la sala de máquinas para buscar posibles fallos en el acople de la bomba, se retira la carcasa que esconde el acoplamiento y se descubre que el piñón conductor se ha truncado totalmente.

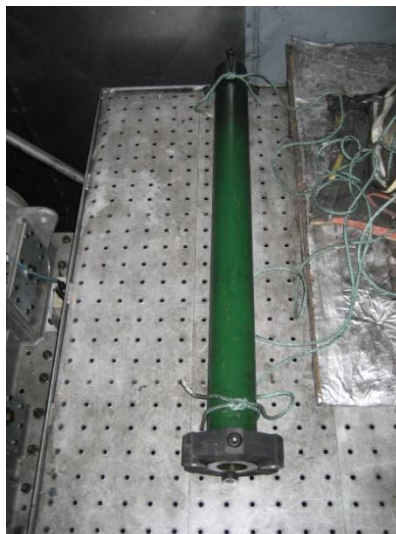
Fig. 76. Rotura del eje conductor y del acople



Fuente: Trabajo de campo

Como consecuencia de esto, el elastómero que hace de union entre el eje y el piñon tambien se ha roto, por lo que se tiene que retirar el eje para poder sacar los trozos de elastómero que todavia están unidos a él.

Fig. 77. Eje de la reductora-PTO



Fuente: Trabajo de campo

V.-RESULTADOS

Ya en trabajo de mantenimiento nocturno se profundiza más en la reductora para saber hasta donde han alcanzado los daños.

Se retira la carcasa donde se encuentran alojados los engranajes y se retira el engranaje conductor de la PTO para ver su estado. Se le practican pruebas con líquidos penetrantes para ver si se han producido grietas o pequeñas fisuras que no se ven con la inspección visual.

Fig. 78. Engranaje conductor PTO



Fuente: Trabajo de campo

Tras comprobar que el engraje y el eje están en perfecto estado se pasa a comprobar también el estado del piñón de la PTO, el cual se verifica que también continúa en buen estado.

Fig. 79. Engranaje PTO



Fuente: Trabajo de campo

Una vez comprobados los daños, se pasa a la reparación o mas bien sustitución de los elementos dañados. Se coloca un nuevo eje conductor y un nuevo acople, y se realizan las pruebas pertinentes para ver si el funcionamiento de la PTO es correcto.

Se comprueba que la presión hidráulica se mantiene en valores óptimos de trabajo, y se realizan pruebas de gobierno y el accionamiento del estabilizador de popa.

Fig. 80. Acople piñón de la reductor-eje de la PTO



Fuente: Trabajo de campo

Se cree que la avería es debida a un bloqueo de la PTO, por lo que como medida preventiva se pide una bomba igual para respeto, por si el fallo de la ya montada continúa produciéndose.

VI.-CONCLUSIONES

A continuación se expondrán las conclusiones a las que se ha llegado con la realización del Trabajo de Fin de Grado:

- Una vez revisado todo lo expuesto, así como los manuales de los equipos y elementos que conforman el sistema Waterjet, se ha llegado a conocer el funcionamiento y el mantenimiento de los sistemas waterjets del buque Bentago Express, lo que satisface el objetivo general que se había marcado con el trabajo.
- A su vez, se ha visto la estructura y disposición de los elementos dentro del buque de estudio, así como los datos de los sistemas más importantes en cuanto a propulsión, gobierno y generación eléctrica.
- Respondiendo también a los objetivos específicos marcados, conviene señalar el amplio conocimiento adquirido sobre las características del sistema, sobre su funcionamiento y sobre las partes tanto del propulsor en sí, como de la unidad hidráulica que lo gobierna.
- Se han visto también, varios casos de los distintos tipos de mantenimiento practicados a bordo y la importancia que tienen estos para la vida útil de los elementos, que se puede alargar exponencialmente con un buen mantenimiento.

A parte de los objetivos marcados al comienzo del Trabajo de Fin de Grado, se han logrado otras conclusiones que se comentan a continuación:

- Se ha visto la importancia que tienen los programas de mantenimiento dentro del buque, para evitar costes excesivos por averías. Así pues, se ve lo vital que son los mantenimientos predictivo y preventivo para reducir al máximo los casos de mantenimiento correctivo a bordo siempre que sean económicamente viables.
- Otra de las conclusiones a las que se ha llegado, es el alto rendimiento que poseen los sistemas waterjets, cuando se trata de propulsar y gobernar buques de este tipo que van a altas velocidades. Esto es debido fundamentalmente a la poca cavitación que se produce en las palas y al bajo y sencillo mantenimiento que precisa la instalación. Por

VI.-CONCLUSIONES

ello opino, que este tipo de propulsión se extenderá cada vez más en el sector del transporte marítimo, incluso a otros tipos de embarcaciones.

VII.-BIBLIOGRAFÍA

VII.-BIBLIOGRAFÍA

- [1] Iñesta i Sola, V. (2014), *Estudio del sistema propulsivo Waterjet*. Proyecto Final de Carrera, Facultad de Náutica de Barcelona.
- [2] Allison, J. (1993). *Marine Water jet Propulsion*, Maryland.
- [3] Marinebiz (2009) Water Jet propulsion system:
<http://www.marinebiz360.com/Marine-Information-India/ship-equipment/water-jet-propulsion-system/water-jet-propulsion-system/20.html>
- [4] Wartsila (02.2011), *Wartsila waterjets offer powerful and versatile propulsion solution*, Wartsila Technical Journal
- [5] FEANI, *Definición de mantenimiento*:
<http://www.feani.org/site/index.php>
- [6] Gómez de León, F. (1998) “*Tecnología del Mantenimiento Industrial*”, Murcia.
- [7] Sinais (2011), Tipos de mantenimiento:
http://www.sinais.es/Recursos/Curso-vibraciones/intro/tipos_mantenimiento.html
- [8] Fred Olsen (2003), *General Arrangement Bentago Express*.
- [9] Caterpillar (2002), *Caterpillar engine specifications*, Marine Propulsion Engine 3618.
- [10] Caterpillar (2002), *3618*, Marine Product Guide.
- [11] Caterpillar (2000), *3406B*, Operation and Maintenance Manual
- [12] Reintjes (2006), *VLJ 6831*, Reinjes Gearbox Manual
- [13] Wartsila, *Wartsila Modular Waterjets*, Technical information:
<http://www.wartsila.com/products/marine-oil-gas/propulsors-gears/waterjets/wartsila-modular-waterjets>
- [14] Wartsila, (2014), *Wärtsilä Waterjets Product Guide*, Finlandia
- [15] Lips (1998), *LIPS drawings and partslists*
- [16] Roemheld (2013), *Cosas interesantes a conocer sobre cilindros hidráulicos*
- [17] Vickers (2010), *Vickers PVH Piston Pump*
- [18] Sapiensman, *Conceptos básicos sobre neumática e hidráulica*:
http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica31.htm
- [19] Ternium (2008), *Conceptos básicos de hidráulica*:
<http://www.eet6sannicolos.edu.ar/biblioteca/alumnos/2%20polimodal/TX-TMP-0001%20MP%20Hidr%C3%A1ulica%20B%C3%A1sica.pdf>

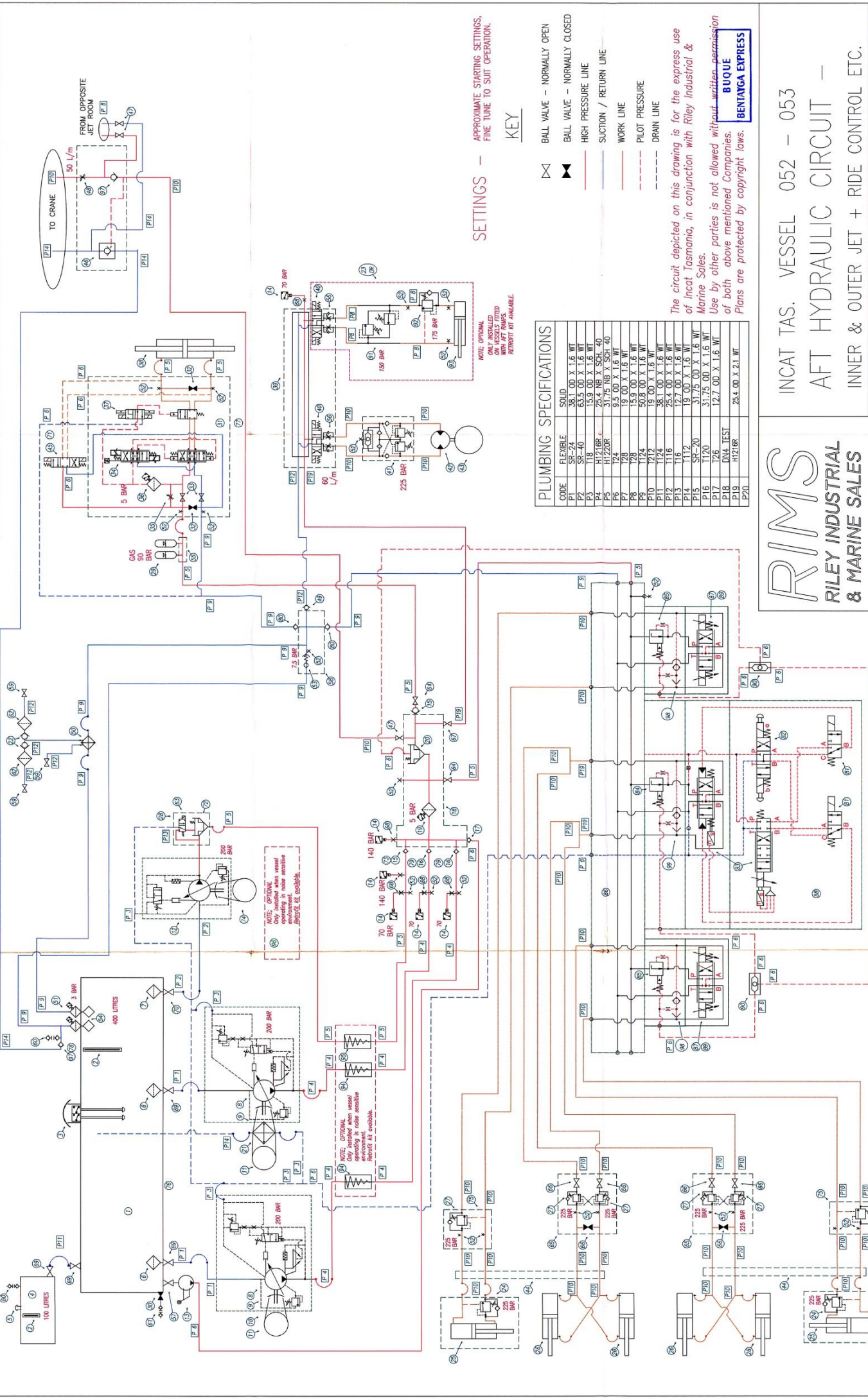
[20] Hidranaven, *Válvulas hidráulicas direccionales*:

<http://www.hidranaven.com/pdf/direccionales.pdf>

[21] Rexroth (2009), Catálogo: *4/3 Proportional directional control valve*.

VIII. ANEXOS

ZONE	REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVED



APPROXIMATE STARTING SETTINGS,
FINE TUNE TO SUIT OPERATION.

KEY

- ☒ BALL VALVE - NORMALLY OPEN
- ☒ BALL VALVE - NORMALLY CLOSED
- HIGH PRESSURE LINE
- - - SUCTION / RETURN LINE
- ⋯ WORK LINE
- ⋯ PILOT PRESSURE
- ⋯ DRAIN LINE

The circuit depicted on this drawing is for the express use of Incat Tasmania, in conjunction with written permission from Riley Industrial & Marine Sales. Use by other parties is not allowed without written permission of both above mentioned Companies. Plans are protected by copyright laws.

BLIQUE
BENTANGA EXPRESS

PLUMBING SPECIFICATIONS

CODE	FLEXIBLE	SOLID
P1	SR-24	38.1 OD X 1.6 WT
P2	SR-40	63.5 OD X 1.6 WT
P3	118	15.9 OD X 1.6 WT
P4	H12.68R	37.4 OD X 1.6 WT
P5	H12.20R	9.5 OD X 1.6 WT
P6	74	19.0 OD X 1.6 WT
P7	78	19.0 OD X 1.6 WT
P8	78	15.9 OD X 1.6 WT
P9	174	50.8 OD X 1.6 WT
P10	T12	19.0 OD X 1.6 WT
P11	174	38.1 OD X 1.6 WT
P12	116	12.7 OD X 1.6 WT
P13	116	12.7 OD X 1.6 WT
P14	1112	19.0 OD X 1.6 WT
P15	SR-20	31.75 OD X 1.6 WT
P16	1120	31.75 OD X 1.6 WT
P17	126	12.7 OD X 1.6 WT
P18	DN4 TEST	
P19	H12.68R	26.4 OD X 2.1 WT
P20		

NOTE: OPTIONAL
ONLY INSTALLED
IF NOT REQUIRED
WITH AFT RAMPS.
RETRIBUT NOT AVAILABLE.

NOTE: OPTIONAL
Only included when vessel
operating in noise sensitive
environments. Retribut not available.

NOTE: OPTIONAL
Only included when vessel
operating in noise sensitive
environments. Retribut not available.

RIMS
RILEY INDUSTRIAL & MARINE SALES
24. GEPP PARADE
DERWENT PARK
TASMANIA, AUSTRALIA
PH. +61 (0)362732211
FAX. +61 (0)362733203

INCAT TAS. VESSEL 052 - 053
AFT HYDRAULIC CIRCUIT -
INNER & OUTER JET + RIDE CONTROL ETC.

SIZE	FSCM NO.	DWG NO.	REV
A1		052 - 053 AFT	

SCALE NTS P KNIGHT 04 / 99 SHEET 1

ITEM	DESCRIPTION	MANUFACTURER	PART No.	QUANTITY	SETTING
1	RESERVOIR	INCAT	400L 2000L X 500H X 500W	1	400 L
2	SIGHT GLASS	HYDAC	FSA-254-1-1-T12	2	-
3	TEMPERATURE / LEVEL SENSOR	BUHLER / OLAER	23K-M-370	1	70 C / 95%
4	RESERVE TANK	INCAT	100L	1	100 L
5	FILLER / BREATHER	HYDAC	BF 3 G10W-1.0	1	-
6	SUCTION ELEMENT	HYDAC	0100-S-125-WP/B0.2	2	-
7	SUCTION ELEMENT	HYDAC	0180-S-125-WP/B0.3	1	-
8	PUMP - ELECTRIC	VICKERS	PVH57Q1C-RAF-1S-10-C20VT16-14	2	200 BAR
9	COUPLING	CROSS	ND108C/R103/ND108HD40	2	-
10	BELL HOUSING	SKEELS & PERKINS	TH4127A	1	-
11	ELECTRIC MOTOR	BROOK CROMPTON	22 KW @ 1440 RPM 180L B3/E5	2	-
12	PUMP - PTO	VICKERS	PVH131C-RAF-3S-10-C25V-31	1	200 BAR
13	PUMP - HAND	CROSS	PM50	1	-
14	PRESSURE SWITCH	STAUFF	DS307-240	6	70 OR 140 BAR
15	CHECK VALVE	BOSCH / DENISON	C5V10-311-A1	2	-
16	CHECK VALVE	BOSCH / DENISON	C5V08-311-A1	2	-
17	CHECK VALVE	BOSCH / CBF	VU38-SF01	1	-
18	MANIFOLD	RIMS	50101	1	-
19	PRESSURE FILTER	HYDAC	DF-BN/HC-330-P-10-C-1-0	1	5 BAR ALARM
20	PRIORITY FLOW REGULATOR	VICKERS	CV1-25-D11-2-M-10 / CVCS-25-N-B29-10	1	-
21	BELL HOUSING COOLER	HYDAC	PTK3501/1-1.0/M-SAE C 2 BOLT	1	-
22	CHECK VALVE - COOLER WATER	TURNFLO	SSC-25-316SS	2	-
23	BLANKING PLATE	BERENDSEN	IBP5	1	-
24	BUCKET C/BALANCE VALVE	LIPS		2	250 BAR
25	BUCKET CYLINDER	LIPS		2	-
26	STEERING CYLINDER	LIPS		4	-
27	JET C/BALANCE CARTRIDGE	BERENDSEN / OIL CONTROL	VB50-SEC-33-04-52-11-03-99-35	6	250 BAR
28	PTO SEAT VALVE PILOT CONTROL	BOSCH	0810 061 245 / 1810 120 017	1	-
29	ACCUMULATOR	BOSCH	0531 015 700 / 1533 359 036 / 1531 334 005 / 1530	2	90 BAR NITROGEN
30	DRAIN VALVE	ATLAS COPCO	BAL1A20	1	-
31	MANIFOLD	RIMS	3847B - REV 2	1	-
32	ACC BLEED / TRAIL VALVE	HYDAC	KHP10-1-2-1-2-AK-P	2	-
33	ISOLATION VALVE	HYDAC	KHP25-1-2-1-2-AK-P	2	-
34	PROPORTIONAL VALVE	BOSCH	0811 404 430 / 1834 482 023	1	-
35	BYPASS FLOW CONTROL	HYDAC	DVE8-1-1/2-P	1	1.5 TURNS
36	PILOT FILTER	HYDAC	DF-BN/HC-AFE-30-5-C1.0	1	5 BAR ALARM
37	LOCK VALVE	BOSCH	0810 010 500 / 0810 081 242	1	-
38	TRIM TAB CYLINDER	SKEELS & PERKINS		1	-
39	MANIFOLD	BERENDSEN	IM-5-1-P-2	1	-
40	DIRECTIONAL VALVE	BOSCH	0810 001 731 / 1817 001 005	1 + 1	-
41	MOTION CONTROL VALVE	BERENDSEN / OIL CONTROL	VAA-B-SICN-ST-VF-150-05-71-45-03-04-35	1	225 BAR
42	CAPSTAN MOTOR	CHARLYN	109-1118	1	-
43	CAPSTAN GEARBOX	RENOLD / SOM	PG1002MS-14.63 / FL1000-1600 / FF1000-1600 / Z14	1	-
44	TRANSOM PENETRATION	RIMS	12/24 CHARLYN 4000	2	-
45	PORT BLOCK	HMC	3851	1	-
46	CHECK VALVE	BERENDSEN / OIL CONTROL	HMC-3-TAB	1	-
47	BALL VALVE	HYDAC	VSO-SE-05-52-01-00-04-01	3	-
48	CRANE FLOW CONTROL	HYDAC	KHB-G1/2-1-1-2-AK	1	-
49	CHECK VALVE	BOSCH / CBF	SRVR-12-1-0V-P	1	60L/m
50	COOLER OIL / SEAWATER	DYNACOOOL	VJ34-SF01	3	-
			65-B1003-TSW	1	-

ITEM	DESCRIPTION	MANUFACTURER	PART No.	QUANTITY	SETTING
51	RETURN FILTER	HYDAC	RF BN1HC-330-F-10-C-1	2	3 BAR ALARM
52	TEST POINTS	STAUFF	SMK20-G1/4"-VARIOUS	19 + 3	-
53	COOLER BYPASS VALVE	HYDAC	RVP25-1 0/0-7.5 BAR	1	-
54	RETURN DIFFUSER	CROSS	SD200AG	2	-
55	ACCUMULATOR MANIFOLD	RIMS	3404	1	-
56	FLOW CONTROL	BOSCH	0811 320 025	1 + 1	50L/m + 25 L/m
57	LP BALL VALVE	ATLAS COPCO	BAL1A15	1	-
58	COOLER BYPASS MANIFOLD	RIMS	4788	1	-
59	SKIN VALVES	PROCHEM	1" 316 2 PIECE BALL VALVES	3	-
60	FILL VALVE	RYCO	R82-12M	2	-
61	OLF CONNECTER	RYCO	R82-12F	1	-
62	WEED TRAP	SKEELS & PERKINS		2	-
63	MANIFOLD	RIMS	48100	1	-
64	ISOLATION VALVE	HYDAC	KHM-32F3-1-1-1-2-AK	2	-
65	C.BAL / ISOLATION MANIFOLD	RIMS	4690	2	-
66	JET ISOLATION / TRAILING VALVE	HYDAC	KHP16-1-2-1-2-AK-P	6	-
67	ISOLATION VALVE	HYDAC	KHB-G3/4-1-1-2-AK	1	-
68	PRESS. SWITCH CONNECTER	STAUFF	STH-20-400A + 2 X SMK20-R1/4"KPD	6	-
69	LP BALL VALVE	ATLAS COPCO	BAL1A40	4	-
70	SUCTION VALVE	ATLAS COPCO	BAL1A65	1	-
71	TRIM TAB OVERRIDE VALVE	BOSCH	0810 091 203	1	-
72	PTO SEAT VALVE	VICKERS	CV1-25-D11-2-M-10 / CVCS-25-D3-B29-10	1	-
73	CHECK VALVE SLICE	RIMS	4685	1	-
74	PTO SHAFT	CENTA	CF-A-C30-G-2-2-L> ?	1	-
75	BUCKET CB VALVE MANIFOLD	RIMS	4689	2	225 BAR
76	TANK SUPPORTS	MACKAY	M140-60	8	-
77	FLUSHING BLOCK	RIMS	3413	1	-
78	RETURN FILTER ADAPTOR	RIMS	3625	2	-
79	CHECK VALVE SLICE	RIMS	4684	2	-
80	RETURN LINE CHECKS	BOSCH / DENISON	C5V-12-331-A1	2	-
81	STEERING BACKUP SELECTER VALVE	BOSCH	0521 000 109	2	-
82	STEERING BACKUP PILOT VALVE	BOSCH	0810 091 212	1	-
83	STEERING PROPORTIONAL VALVE	BOSCH	0811 404 702	1	-
84	STEERING PRESSURE COMPENSATOR	SUN	YFEQ XHN BB/M	1	25 BAR APPROX.
85	BUCKET PRESSURE COMPENSATOR	SUN	YFEQ XFN BB/M	2	15 BAR APPROX.
86	JET VALVES MANIFOLD	BOSCH	NL 9962 007 327	1	-
87	BUCKET PROPORTIONAL VALVE	BOSCH	0811 404 833	2	-
88	STEERING PILOT MANIFOLD SLICE	BOSCH	NL 9962 015 921	1	-
89	BUCKET AMPLIFIER CARDS	BOSCH	0811 405 106	2	-
90	SHUTTLE VALVE	BERENDSEN / OIL CONTROL	VFC-NC-05-99-05-00-09	2	-
91	SHORE RAMP CROSS LINE RELIEF	OIL CONTROL	VSDI-30-05-16-03-03-03-20	0 + 1	150 BAR
92	SHORE RAMP COUNTER BAL. VALVE	OIL CONTROL	VBSO-SE-CC-05-41-06-02-03-20	0 + 1	175 BAR
93	SHORE RAMP CYLINDER	SKEELS & PERKINS		0 + 1	-
94	NOISE ATTENUATOR	DEANQUIP	TPD-140-25-R1"-3 + 3 x IH-K-75	0 + 2	-
95	NOISE ATTENUATOR	DEANQUIP	TPD-200-25-3-H + 3 x IH-K-75	0 + 1	-
96	SHUTTLE VALVE	BOSCH / SUN	CSAB-BXN	2	-
97	SHUTTLE VALVE	BOSCH / HYDAC	WVE-R1/4-01X	1	-
98					
99					
100					

