

**UNIVERSIDADE DA CORUÑA**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA Y MÁQUINAS**

**INGENIERÍA MARINA**

**ENERGÍA Y PROPULSION**



**“PROPULSION CICLOIDAL”**  
(

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**JULIO – 2014**

**AUTOR: FERNANDO MENDIZABAL DIEZ**

**TUTOR: Felipe Antelo González**

A mi esposa

# Agradecimientos

A José Miguel Rodríguez, Service Manager en España de Voith Turbo S.A. Marine Division, que me animó a elegir como tema de trabajo la propulsión cicloidal y sin cuyas explicaciones e información este trabajo no hubiera sido posible.

A Ricardo Rodríguez, Regional Manager Marine en España de Voith Turbo S.A.

A Felipe Antelo, mi director del Trabajo de Fin de Master, su dedicación y pasión por en la enseñanza son un ejemplo a seguir.

A Alvaro Baaliña, mi profesor de hidrodinámica, que me ha ayudado a entender el funcionamiento de los propulsores cicloidales.

A todos los profesores del Master en Ingeniería Marina por hacerme disfrutar en mi retorno a las aulas.

A mis compañeros de Master por su ayuda y amistad.

Por último, a Francisco Losada y Jesús Rodríguez, Practicos del Arsenal Militar de Ferrol que han aportado su conocimiento y experiencia en la utilización de los Voith Water Tractors.

## ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCION.....	4
2	EL PROPULSOR VOITH SCHNEIDER (VSP).....	4
2.1	Historia.....	4
2.2	Descripción.....	6
2.3	¿Por qué se llama propulsión cicloidal?.....	8
2.4	Forma en que se genera el empuje.....	9
2.5	Forma de variar el ángulo de ataque de las palas.....	15
2.6	Interacción entre el motor y el propulsor.....	17
2.6.1	Motor diésel.....	17
2.6.2	Propulsión eléctrica.....	17
2.6.3	Líneas de ejes.....	17
2.7	Características de los propulsores Voith Schneider.....	19
2.8	Sistemas de control de los propulsores Voith.....	21
2.8.1	Control mecánico.....	21
2.8.2	Control electrónico.....	22
2.9	Modelos de VSP.....	24
3	TIPOS DE BUQUES CON PROPULSION VSP.....	26
3.1	Remolcadores Voith Water Tractors (VWT).....	26
3.1.1	C Class-Tipo compacto.....	28
3.1.2	H Class-Tipo Puerto.....	28
3.1.3	E/T Class-Tipo escolta/terminal.....	28
3.1.4	AHT Class-Tipo Anchor Handler.....	29
3.1.5	Remolcadores contra incendios.....	30
3.2	Dragaminas.....	31
3.3	Grúas flotantes autopropulsadas.....	33
3.4	Buques offshore.....	34

3.4.1	Sea Installer.....	35
3.4.2	North Giant.....	35
3.4.3	Edda Fides.....	36
3.5	Transbordadores.....	37
3.5.1	Transbordadores híbridos.....	38
3.6	Buques especiales.....	39
4	TECNOLOGIAS DESARROLLADAS A PARTIR DE LOS VSP...	40
4.1	Sistema de posicionamiento dinámico (DP).....	40
4.1.1	Mantenimiento de la posición.....	41
4.2	Voith Turbo Fin (VTF).....	43
4.3	Voith Cycloidal Rudder (VCR).....	46
4.3.1	Modo pasivo.....	47
4.3.2	Modo activo.....	48
4.4	Amortiguación del movimiento de balance.....	49
4.5	Robert Allan Voith Escort (RAVE).....	52
5	PROPULSION CICLOIDAL VERSUS AZIMUTAL.....	56
5.1	Propulsión azimuthal.....	56
5.1.1	Historia.....	57
5.1.2	Hélice timón Schottel.....	58
5.2	Comparativa.....	60
5.2.1	Comparación en función de la disposición de los propulsores bajo el casco del buque.....	60
5.2.2	Comparación en función de la protección del propulsor.....	62
5.2.3	Comparación en función del empuje en dirección y magnitud....	63
5.2.4	Comparación en función de la utilización de la potencia.....	63
5.2.5	Comparación en función de uno de los propulsores.....	64
5.2.6	Comparación en función de la transmisión del gobierno.....	65
5.2.7	Comparación en función del control.....	65
5.2.8	Comparación en función del concepto mecánico.....	66
5.2.9	Comparación en función del concepto operacional.....	66
5.2.10	Comparación en función de la disponibilidad.....	67

5.2.11	Comparación en función del coste inicial.....	67
5.2.12	Comparación en comparación al coste de vida.....	68
6	MANIOBRAS CON UN VOITH WATER TRACTOR (VWT).....	68
6.1	Parada de emergencia.....	69
6.1.1	Estándar.....	69
6.1.2	Mejorada.....	70
6.2	Maniobra de desatraque.....	70
6.2.1	Con espacio libre.....	70
6.2.2	En espacio confinado.....	71
6.3	Maniobra de atraque de costado.....	71
6.3.1	Con espacio libre.....	71
6.3.2	En espacio confinado.....	72
6.4	Forma de dar remolque a proa.....	72
6.4.1	Remolque por alavante de proa.....	72
6.4.2	Cambio de posición para empujar/tirar en la amura.....	73
6.5	Forma de dar remolque a popa.....	75
6.6	Remolcador escoltando.....	76
6.6.1	Ayuda al gobierno.....	76
6.6.1.1	Método directo.....	76
6.6.1.2	Método indirecto.....	76
6.6.2	Frenado del buque remolcado.....	77
6.6.3	Firme a popa con cambio de posición para empujar/tirar.....	77
6.7	Push and Pull.....	78
6.7.1	Remolcador acodado en la proa para empujar con la popa.....	78
6.7.2	Acodado en la aleta para empujar.....	79
6.8	Amarrado al costado con retenidas.....	80
7	CONCLUSIONES.....	82
8	REFERENCIAS.....	85

## 1 INTRODUCCIÓN.

En primer lugar voy a explicar el porqué de la elección de este tema para el trabajo de fin de Master.

En el año 1.999 entró en servicio en el Arsenal Militar de Ferrol el primer remolcador con propulsión Voith Schneider de 3.000 Hp y 35 toneladas de tiro a punto fijo, posteriormente entraría en servicio un segundo remolcador de 1.500 Hp y 18 toneladas de tiro punto fijo.



Imagen 1.1: Remolcador Y-122

Fuente: Propia



Imagen 1.2: Remolcador Y-126

Fuente: Propia.

Para mí, Oficial de puente, resultaba extraño un buque que llevaba los propulsores en la zona de proa, a un tercio de su eslora y que además sus palas rotaban sobre un eje vertical. En los tres últimos años y debido a mi trabajo, he podido conocer su potencial, alta maniobrabilidad y eficacia pero seguía sin conocer los principios de funcionamiento sus propulsores. Fruto de esa inquietud es este trabajo.

## 2 EL PROPULSOR VOITH SCHNEIDER (VSP).

### 2.1 Historia.

El propulsor Voith Schneider (VSP, Voith Schneider Propeller) fue desarrollado hace 85 años por el Ingeniero austriaco Erns Schneider. En principio fue un diseño para una turbina hidroeléctrica, el agua al caer movería las palas. Esta turbina no mejoraba las ya existentes, tras conversaciones con el Ingeniero Ludwing Kober surgió la idea de transformar invertir el diseño, serían las palas las

que moverían el agua y no el agua las palas. En 1.926, a través de Ludwing Kober se presentó la patente a Voith y se llegó al acuerdo de explotación de su invento en exclusividad por parte de Voith [1].

En 1928 se instaló un prototipo de 60 hp en una embarcación llamada “Torqueo” y su ensayo se llevó a cabo en el lago Constanza.

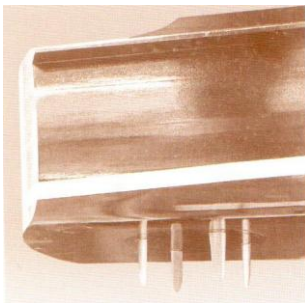


Imagen 2.1.1: Torqueo y su propulsor

Fuente: Referencia 1.

En 1.930 se construyó el primer remolcador para servicio en el Danubio, era el “UHU” de 355 Hp.



Imagen 2.1.2: VSP UHU.

Fuente: Referencia 1



Imagen 2.1.3: Remolcador UHU

Fuente: Referencia 1

EL VSP se instaló en gran número de dragaminas alemanes a partir de 1929 siendo el primero el R8 construido por la empresa alemana Lürssen. Para 1931 comenzó la construcción de un nuevo buque en el lago Constanza que prestaría servicio al correo alemán.





Imagen 2.1.4: Buque pasaje RAVENSBURG

Fuente: Referencia 1.

El primer buque para transporte de pasajeros con este sistema fue el Kempten.

Hoy en día su principal uso es en remolcadores, existen más de 1.000 remolcadores con propulsores VSP [2].

## 2.2 Descripción [1,4,5].

El concepto del Propulsor Voith Schneider Propeller (VSP) se basa en un rotor que va alojado en el casco y tiene movimiento de rotación constante alrededor de un eje vertical, este movimiento giratorio del rotor es realizado por medio de un mecanismo de caja reductora y engrane cónico (este último hecho firme al rotor).



Imagen 2.2.1: Remolcador Y-126 con VSP

Fuente: Propia



Imagen 2.2.2: Propulsor VSP

Fuente: [www.Voithturbo.com/marine](http://www.Voithturbo.com/marine)

En la parte inferior del rotor con forma de disco, están afirmadas 4 o 5 palas de perfil hidrodinámico, las cuales participan del movimiento circular del rotor y a su

vez se superponen sobre sus respectivos ejes verticales mediante un mecanismo Cinemático.

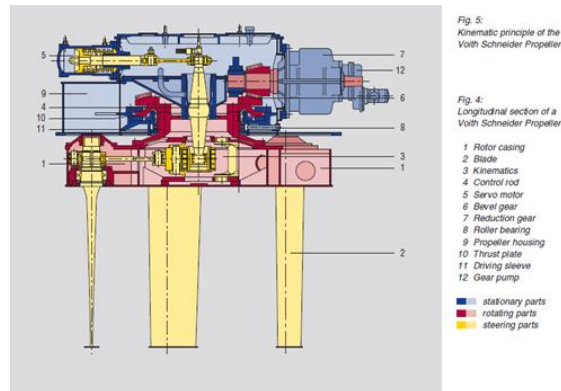


Imagen 2.2.3: Esquema propulsor VSP

Fuente: [www. Voithturbo.com/marine](http://www.Voithturbo.com/marine). AGO 2014

Al modificarse el paso de las palas y su excentricidad se consigue que la fuerza de empuje resultante actúe en cualquier dirección que se desee, de esta manera, manteniendo el giro del rotor en el mismo sentido y a velocidad constante, se logra cambiar el empuje en cualquier dirección de manera instantánea.

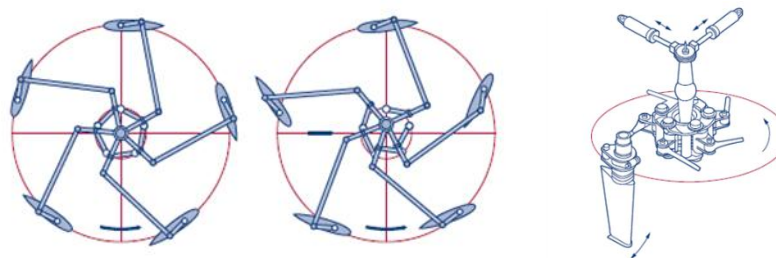


Imagen 2.2.4: Variación del paso de las palas con los elementos cinemáticos

Fuente: [www. Voithturbo.com/marine](http://www.Voithturbo.com/marine). AGO 2014

Con paso cero, palas girando sin generar empuje, el eje de giro del rotor coincide con el eje de giro del elemento cinemático. Si actuamos sobre los servomotores y movemos el eje de elemento cinemático trasversal, longitudinalmente o ambos a la vez este hace variar el ángulo de las palas respecto a la tangente del círculo de giro de las palas. A mayor excentricidad mayor empuje. Como las palas están bien equilibradas, la excentricidad se puede variar de forma rápida.

Es un sistema parecido al de las hélices de paso variable solo que varía el eje de rotación que en las hélices es horizontal y aquí es vertical. En la siguiente figura podemos ver el eje de rotación y la dirección del empuje de una hélice convencional y de un propulsor Voith.

### 2.3 ¿Por qué se le llama propulsión cicloidal [1]?

El movimiento de una pala respecto a un observador estático resulta de la superposición del movimiento de rotación del rotor y una línea recta que representa el movimiento avante del buque. La pala sigue el movimiento de una cicloide, una cicloide es una curva generada por un punto perteneciente a una circunferencia generatriz al rodar sobre una línea recta directriz sin deslizarse.

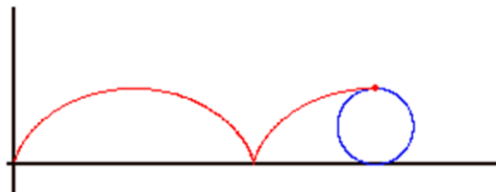


Imagen 2.3.1: Cicloide

Fuente: Propia.

Las siguientes figuras nos muestran el movimiento de la pala, la figura "a" para un observador que se encuentra en el propulsor y la "b" para un observador estacionario.

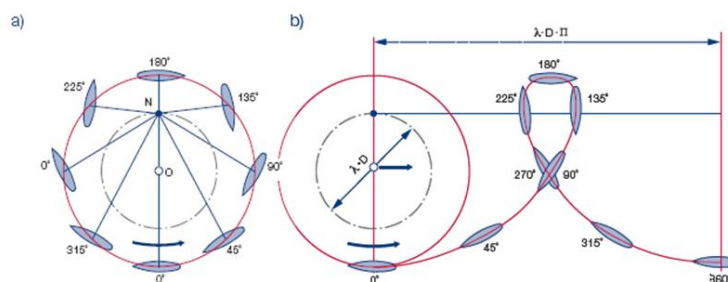


Imagen 2.3.2: Cicloide seguido por una de las palas.

Fuente: Voith Turbo.com/marine. AGO 2014

El radio de giro de la cicloide es  $\lambda \cdot D / 2$ . Durante una revolución, el propulsor recorre una distancia  $\lambda \cdot D \cdot \pi$  en la dirección del movimiento del buque.

## 2.4 Forma en que se genera el empuje.

Como ya se ha visto, los VSP pueden generar de forma instantánea empuje en cualquier dirección, con la ventaja que los motores que los mueven funcionan a un régimen de revoluciones constantes y sin necesidad de invertir el giro del motor ni del rotor para invertir la marcha. Esto los hacen unos propulsores ideales para buques que necesiten gran maniobrabilidad.

A continuación vamos a ver cómo se genera el empuje.

Voith en varios de sus documentos compara el principio de generación de empuje por un VSP al que realiza la aleta de un delfín o a las alas de un pájaro. En la siguiente imagen se puede ver superpuestas al movimiento de la cola de un delfín las posiciones que adoptaría una de las palas del propulsor<sup>3</sup>.

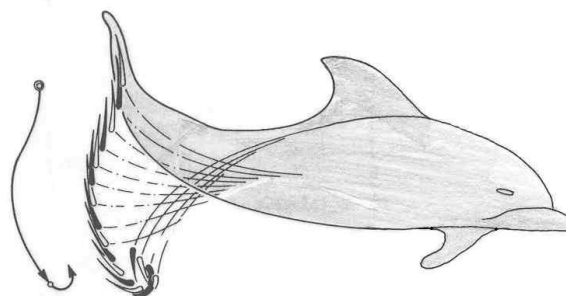


Imagen 2.4.1: Comparación entre el movimiento de la cola de un delfín y el de las palas de un VSP.

Fuente: Voith-Schneider.

El Subdirector de la División Marina Voith Mexico Juan Karlo Populus, en su Blog [6] lo explica de esta manera: *“La forma en que trabaja cada pala es similar a como lo hace el remo cuando se boga, de esta forma las muñecas serían el mecanismo Cinemático que varían en ángulo de ataque de la pala del remo , este funcionamiento es idóneo, ya que al poder utilizarse palas con una gran superficie de barrido trabajando a velocidades lentas, se consiguen muy altos rendimientos, pocas pérdidas y se evitan problemas de cavitación”*.

Ambas explicaciones tienen se basan en el Principio de Acción Reacción. Las palas empujan el agua y se crea una reacción que crea el empuje sobre el buque, cuanto más agua se arrastra más empuje se crea.

En la siguiente imagen se han dibujado, en un giro completo de una pala, solamente las posiciones en las que se genera empuje y se han suprimido aquellas en las que no se genera empuje o este es mínimo. El VSP genera empuje en dos etapas. Las palas producen empuje en la dirección deseada en la parte delantera y trasera del rotor. Mientras que en las partes intermedias generan empuje en direcciones contrarias por lo que se anulan.

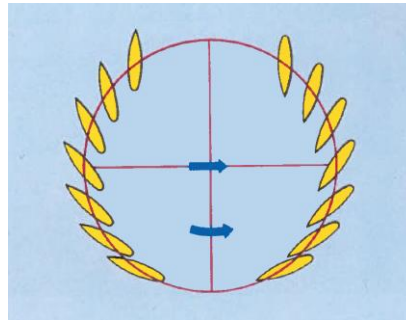


Imagen 2.4.2: Posiciones en las que la pala genera empuje.  
Fuente: Jürgens y Fork, 2002

Se puede observar que las palas están giradas hacia adentro en la primera mitad de su rotación y hacia afuera en la segunda mitad.

Como se puede ver en la imagen queda principalmente un movimiento de vaivén de la pala. El movimiento de vaivén de las palas VSP – en sentido de la mecánica de las corrientes se trata de un medio propulsor no estacionario – es un movimiento, que de preferencia utilizan los seres vivos para la generación de la propulsión.

En las siguientes imágenes se puede observar la representación de las fuerzas generadas por una pala. Debido a la variación del ángulo de ataque de la pala, hay un continuo cambio de empuje en cada revolución. Las fuerzas que actúan transversalmente a la dirección del empuje deseado se anulan las unas a las otras, mientras que las que actúan en la dirección deseada se suman.

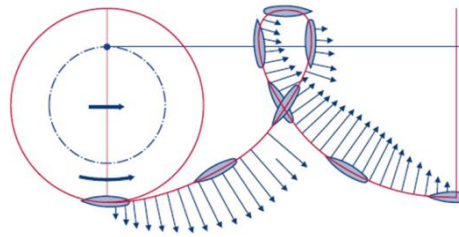


Figura 2.4.3: Representación de las fuerzas de empuje durante un revolución de la pala.

Fuente: Voith Turbo.com/marine. AGO 2014

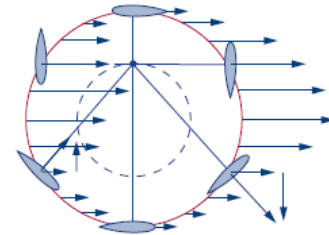


Figura 2.4.4: Fuerzas resultantes de empuje en función de la posición de la pala.

Fuente: Voith Turbo.com/marine. AGO 2014

Para saber cómo se genera el empuje en cada pala nos basamos en el teorema de Bernoulli, que aunque es la más fácil de comprender no es del todo correcta, la explicación es igual que la que explica la sustentación de las alas de un avión o de las palas de un helicóptero. Si se quisiera profundizar más habría que tener en cuenta la vorticidad en los extremos de las palas, de hecho Voith ha diseñado unas palas para evitar estos vórtices, con ellas se consigue un incremento del 1,3 % de tiro a punto fijo.

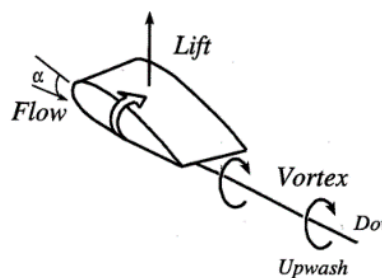


Figura 2.4.5: Vorticidad en la pala.

Fuente: Conferencia de Mr MOLTRECHT. JUN 2001



Figura 2.4.6: Palas de VSP para evitar vorticidad.

Fuente: Conferencia de Mr MOLTRECHT. JUN 2001

Cuando un cuerpo se mueve en un fluido altera la disposición de las moléculas de éste. Si se considera al aire como un fluido, compuesto -como lo está- por moléculas, cualquier cuerpo que se mueva en el mismo altera la disposición de dichas moléculas.

Cuando el ala se mueve en el aire, las moléculas que circulan por la parte superior y las que circulan por la parte inferior lo hacen a una velocidad tal que al final de la misma vuelven a encontrarse [7]. Si el perfil del ala no es simétrico (tiene distinta curvatura en la parte superior a la de la parte inferior) para que dichas moléculas vuelvan a unirse, las que circulan por la parte más larga -en las alas clásicas es la parte superior-, lo hacen a mayor velocidad que las que circulan por la parte inferior. Esa mayor velocidad produce una zona de baja presión, como la parte baja tiene una mayor presión y estas tienden a igualarse se genera un empuje hacia arriba.

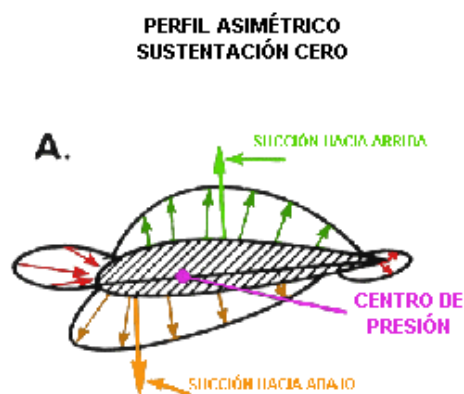


Figura 2.4.7: Sustentación cero.

Fuente:www.aracuan.com.ar JUL 2014

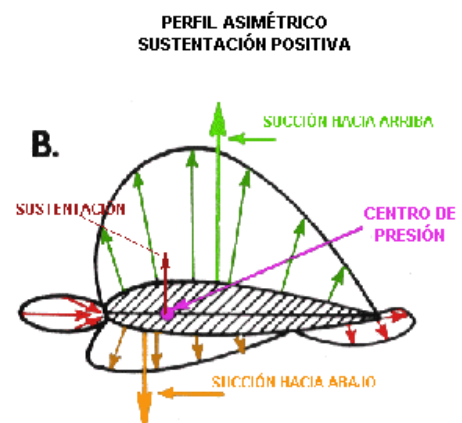


Figura 2.4.8: Sustentación positiva.

Fuente:www.aracuan.com.ar JUL 2014

El párrafo anterior explica el empuje en palas asimétricas, pero las palas las palas del VSP son simétricas. Para conseguir lograr la creación del empuje la pala debe tener un ángulo de ataque, a mayor ángulo de ataque mayor es el empuje hasta un límite en que desaparece el empuje. Si el ángulo de ataque (paso de la pala) es cero no se crea empuje.

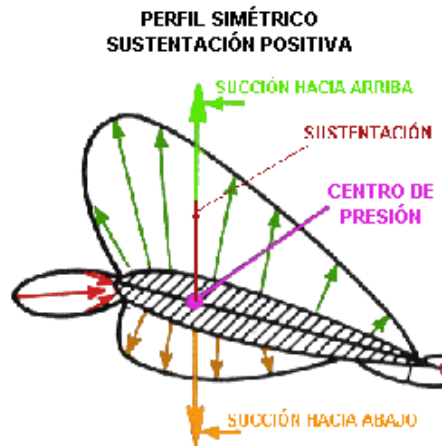


Figura 2.4.9: Pala simétrica empuje positivo  
Fuente:www.aracuan.com.ar JUL 2014

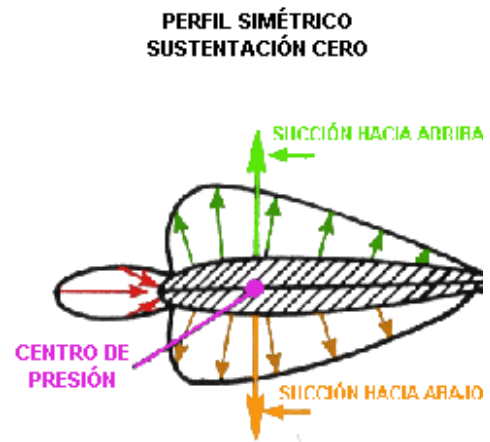


Figura 2.4.10: Pala simétrica empuje cero.  
Fuente:www.aracuan.com.ar JUL 2014

Estos principios son iguales en las palas del VSP.

La siguiente imagen representa un VSP de cinco palas con todo el empuje avante y sin empuje lateral en instante dado [8].

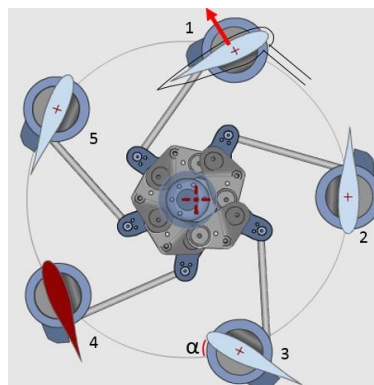


Figura 2.4.11. Posición de las palas de un propulsor en un instante dado.  
Fuente: iVSP Interactive Voith Schneider Propeller.

El ángulo  $\alpha$  de la pala nº 3 es el ángulo de ataque de la pala. En la pala dos, para ese mismo instante, podemos observar que el ángulo de ataque es cero por lo que no existe empuje.

En la pala uno se ha dibujado la trayectoria que seguiría el agua por ambas caras de la pala. Como el camino por la cara exterior es mayor que por la cara interior, el agua circulará más deprisa y se creará una zona de baja presión. Debido a esta



diferencia de presiones se creará un empuje perpendicular a la pala como indica la flecha.

En la siguiente figura, y para el mismo instante vamos a ver como son las fuerzas de empuje generadas en cada pala.

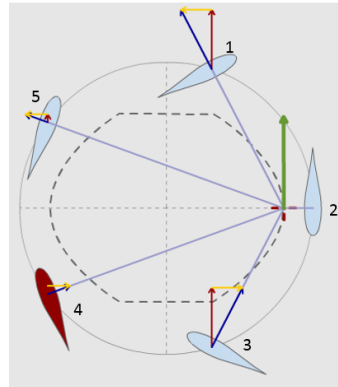


Figura 2.4.12: Fuerzas de empuje en las palas.

Fuente: iVSP Interactive Voith Schneider Propeller.

Las flechas de color azul representan las fuerzas hidrodinámicas que generan el empuje y que son perpendiculares a la pala. Se puede observar que en función del ángulo de ataque esta fuerza es máxima en las palas 1 y 3 y cero en la pala dos.

El empuje perpendicular a la pala se descompone en el empuje en la dirección deseada (flecha roja) y un empuje no deseado (flecha amarilla). A lo largo de un giro de rotor completo las fuerzas no deseadas (flechas amarillas) de cada pala se contrarrestan unas con otras siendo la resultante nula.

La flecha verde representa el empuje total de todas las palas.

Esto mismo se puede explicar de otra manera con la figura 22. En ella  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  y  $R_5$  son las fuerzas de empuje en cada pala en un momento determinado. Sumando estas cinco fuerzas nos da como resultado  $T$  que es el empuje total en un momento dado<sup>4</sup>.

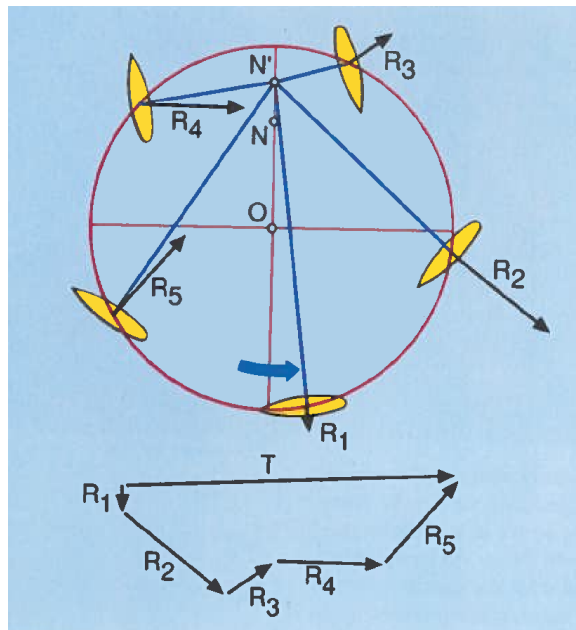


Figura 2.4.13: Empuje en las palas de un VSP  
Fuente: Jürgens y Fork, 2002

## 2.5 Forma de variar el ángulo de ataque de las palas [1,4,5].

Los elementos cinemáticos (Kinematics) forman la base del rápido y preciso cambio de empuje en los propulsores Voith. Como ya se ha comentado anteriormente las palas del VSP se mueven de forma circular y a su vez se les superpone el movimiento de giro de la pala sobre su propio eje longitudinal que varía el ángulo de ataque.

Las perpendiculares al eje longitudinal de las palas se cortan en un punto N llamado centro de gobierno (Steering centre). Este centro varía de posición en función de la orientación de las palas, realmente es al revés, la orientación de las palas varía en función de donde llevemos N. Este punto N lo movemos actuando sobre dos servomotores colocados a 90° el uno del otro. Uno de los servomotores controla el empuje a proa y popa y el otro el empuje a Er y Br.

En el pupitre de gobierno de un remolcador el servomotor proa popa se acciona con las palancas y el de movimiento Br-Er con el volante.

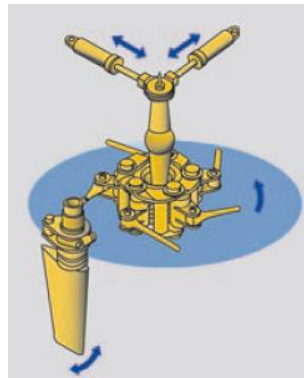


Figura 2.5.1: Elemento cinemático de un VSP de cinco palas.  
Fuente: Voith-turbo

En las siguientes figuras vamos a ver el empuje en función de donde llevemos N.

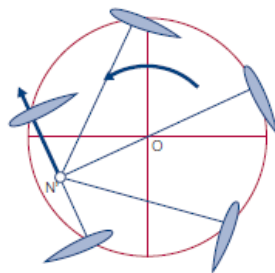


Figura 2.5.2: Llevamos N a N'. Existe un empuje hacia adelante y a babor.

Fuente: Voith-turbo

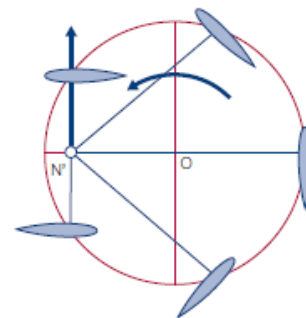


Figura 2.5.3: Eliminamos la componente del eje Y. Descentramos N' solamente en el eje X. Solamente se crea empuje adelante.

Fuente: Voith-turbo

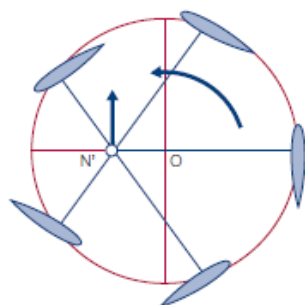


Figura 2.5.4: Disminuimos la distancia ON' sobre el eje X. Se disminuye el empuje creado.

Fuente: Voith-turbo

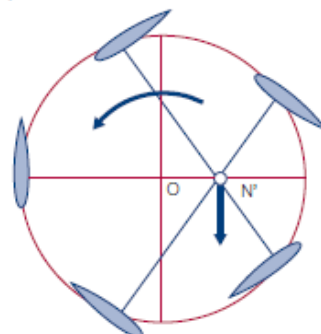


Figura 2.5.5: Al cambiar la posición de N' de estar a la izquierda del eje Y a la derecha invertimos el sentido del empuje.

Fuente: Voith-turbo

## 2.6 Interacción entre el motor y el propulsor.

La dirección de giro del motor de los propulsores Voith no necesitan invertir el giro para crear empuje hacia atrás y los propulsores pueden trabajar revoluciones constantes. Las revoluciones del motor se varían únicamente para ahorro de combustible, cuando no se necesita todo el empuje se puede bajar el régimen de los motores y así ahorrar combustible.

Los propulsores VSP pueden ser movidos por motores diésel y también por motores eléctricos. En el caso de los remolcadores siempre es por motores diésel.

### 2.6.1 Motores diésel:

Los motores diésel son los más ampliamente utilizados para el rango de potencias necesarias en los VSP. La velocidad de entrada al propulsor se puede seleccionar libremente dentro de unos límites. En contraste a las hélices convencionales de paso fijo, en el propulsor VSP, debido a que el paso es variable, siempre se utiliza la potencia máxima del motor en cualquier situación operativa de buque. A diferencia de las hélices de paso al utilizar siempre el motor a las revoluciones de máxima potencia se evitan las sobrecargas del motor.

### 2.6.2 Propulsión eléctrica:

La propulsión eléctrica en VSP se utiliza cuando se necesita grandes cantidades de energía eléctrica para otros equipos de a bordo, como por ejemplo grúas flotantes y ferris. Para la propulsión se utilizan motores robustos y seguros asíncronos de tres fases. Dependiendo de los requerimientos de utilización también se pueden utilizar motores de velocidad controlada.

### 2.6.3 Líneas de ejes:

La línea de ejes que se utiliza para transmitir la salida del motor a propulsor VSP normalmente consiste en un turboacoplador Voith y un acoplamiento de dientes curvos desplazable con un eje intermedio. La utilización de un acoplamiento

hidrodinámico garantiza el arranque y parada suave de todo el sistema de propulsión.

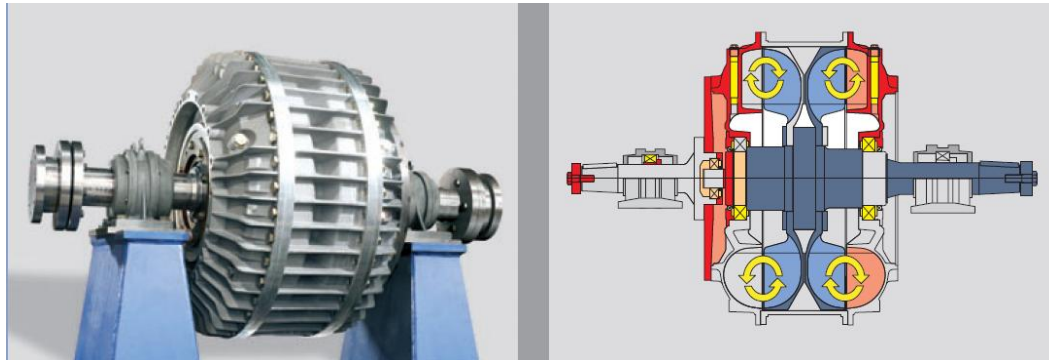


Figura 2.6.3.1: Turbo acoplador con relleno constante de aceite.

Fuente: Voith-turbo

Es más, el turbo acoplador divide el sistema de vibración en una cara primaria y en una secundaria, por lo cual todas las vibraciones del motor principal son amortiguadas en el acoplamiento y prácticamente ninguno es transmitido a la segunda cara.

Hay dos versiones de acoplamiento:

- Turbo acoplamiento con relleno constante de aceite.
- Turbo acoplamiento con flujo de aceite controlado.

Se pueden utilizar los turbo acopladores con relleno constante de aceite para la mayoría de las aplicaciones. Requieren menos mantenimiento.

Los acoplamientos de flujo controlado solamente se utilizan para aplicaciones especiales, por ejemplo cuando hay altos esfuerzos de torsión o se necesitan altas velocidades.

Los propulsores pequeños o los que llevan motores eléctricos no requieren acoplamientos.

## 2.7 Características de los propulsores Voith Schneider[9].

1. Los propulsores Voith son unos propulsores de paso variable o controlable. El paso puede variarse entre +10 y -10, tanto en las palancas como en el volante. Con esto tenemos la ventaja que el motor trabaja a régimen constante y siempre en el mismo sentido de giro.
2. Los propulsores Voith Schneider funcionan a un número muy bajo de revoluciones en comparación a las hélices convencionales del mismo tamaño y potencia. Para dar una idea, los propulsores de los remolcadores en servicio en España, cuyos motores giran a 1.000 rpm, giran a 68 rpm.

Las razones para estas bajas velocidades de giro son las siguientes:

- El área de barrido de un VSP es un 60% mayor que la de una hélice convencional.

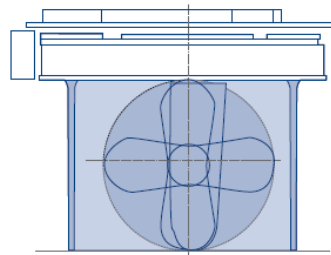


Figura 2.7.1: Comparativa del área de barrido de una hélice convencional y un VSP

Fuente: Voith-turbo

- Las palas están situadas en la periferia del rotor. El flujo resultante debido a la rotación del rotor y la velocidad del buque es constante mientras que en las hélices convencionales se incrementa con el radio de la hélice.
- El VSP genera el empuje en dos fases, en la parte delantera y en la trasera del rotor, de forma similar a como lo hacen las hélices que giran en sentido contrario.

La baja velocidad está asociada con grandes fuerzas de torsión, lo que indica que son necesarios equipos robustos, a pesar de la desventaja de equipos muy grandes. Las ventajas de las bajas velocidades son:

- Larga vida de los equipos, especialmente de los anillos y sellos. A los 15 años de entrar en servicio se realiza un cambio de retenes en las palas. Entre los 20 y los 30 años (depende del estado del buque) se realiza un overhaul, se realiza una reparación general, cambio de casquillos y elementos de roce. El propulsor queda listo para otros 20 o 30 años. Destacar que es mayor la vida de los propulsores que la de un barco. En Portugal hay ahora mismo en servicio remolcadores con propulsión Voith con cincuenta y cuatro años de servicio. Una de las posibilidades que existen es, cuando damos de baja un barco, poner los propulsores de este en un casco nuevo con el consiguiente ahorro.
  - Reducida vulnerabilidad a obstáculos como hielo y maderas a la deriva.
  - Bajas firmas hidrodinámicas.
3. Son unos equipos muy robustos. Los propulsores más las líneas de propulsión instalados en remolcadores pesan unas 33 toneladas cada uno. Cada pala pesa una tonelada. Esto unido a que las palas están construidas de una sola pieza de acero forjado altamente aleado, resistente al agua de mar, y a las bajas revoluciones de trabajo, hace que sea prácticamente imposible la rotura de una de las palas. La cabria “Consulado de Bilbao”, de la Autoridad Portuaria de Bilbao, se fue contra las rocas y únicamente dobló una de las palas. Dicha pala se enderezó en frío. Esta robustez, como hemos visto, no solo supone un ahorro en mantenimiento y averías o reparaciones, sino una mayor seguridad y operatividad del buque.
4. El empuje de cada propulsor es direccionable en todas las direcciones. El cambio de dirección y magnitud del vector de empuje es suave y casi instantáneo se puede pasar de todo avante a todo atrás en cinco segundos.

## 2.8 Sistemas de control de los propulsores Voith [10,11].

Hay dos tipos de control para los propulsores Voith:

- Control mecánico.
- Control electrónico.

El control del VSP es simple y lógico. Está basada en el hecho de que es el único sistema de propulsión que proporciona continuamente empuje variable mediante un sistema de coordenadas X e Y.

### 2.8.1. Control mecánico:

El control mecánico proporciona alta seguridad, facilidad de operación y fácil mantenimiento. Este tipo de control se puede utilizar en buques donde la distancia desde el puente de gobierno a las hélices es corto. Es el tipo de control que se utiliza en los remolcadores ya que asegura el gobierno del buque aunque caiga la planta eléctrica.

Las señales de control se transmiten desde el puente a través de un sistema de palancas y ejes rotatorios.

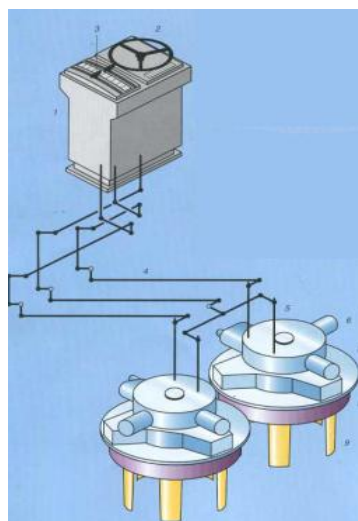


Figura 2.8.1.1: Esquema de conexión mecánica entre en puente y los propulsores.  
Fuente: Manual de maniobra del Voith Water Tractor



El control mecánico tiene una rueda de gobierno para el control de la componente transversal y dos palancas para controlar el componente longitudinal del movimiento.



Figura 2.8.1.2: Rueda y palancas de control del remolcador Y-122  
Fuente: Propia

### 2.8.2. Control electrónico.

A parte del control mecánico (DC) de los propulsores existen cuatro tipos de control electrónico.

	DC	ECA	C	E	ECR	ECS
DESCRIPCION	Control Mecánico	Electronic Addon	Electronic Control		Electronic control Rollstabilisation	Electronic control Rollstabilisation Single unit
Tipo de conexión	Mecánica	Cable				
Tecnología	Mecánica	La señal es eléctrica desde el Puente y se convierte en mecánica a través de autómatas.		Una señal eléctrica controla la válvulas de control del VSP		
Posicionamiento dinámico	X	X	V		V	V
Antibalace	X	X	X		V	V
Capacidad grabación datos	X	V	V		V	V
Requerimientos de potencia eléctrica	> 1Kw	> 1Kw	> 10Kw		150 Kw VSP32 250 Kw VSP 36	40 Kw VSP 28 50 Kw VSP 32

En el cuadro de arriba podemos ver los diferentes tipos de control electrónico.

El Dc es el control mecánico del que ya hablamos en el apartado anterior.

El ECA es un control eléctrico que se transforma en mecánico gracias a un autómatas antes de llegar a los propulsores.

El EC es un control electrónico a través de joystick. Tiene la posibilidad de ponerle un sistema de posicionamiento dinámico.

El ECR difiere del EC en que además de gobernar el buque (manual a través de joystick o automáticamente por posicionamiento dinámico) sirve como equipo estabilizador encargado de disminuir el balance del buque.

EL ECS únicamente se utiliza como equipo estabilizador del movimiento de balance.



Figura 2.8.2.1: Consola de control electrónico de VSP  
Fuente: Conferencia "VTSH Control". 28 mayo 2013

El control electrónico es responsable de monitorizar y controlar lo siguiente:

- Determinar y monitorizar la dirección y la magnitud del empuje para cada VSP.
- Arrancar y parar la propulsión.
- Establecer las revoluciones de los motores propulsores.
- Monitorizar y controlar la situación de carga del motor diésel o eléctrico.
- Controlar las bombas hidráulicas.

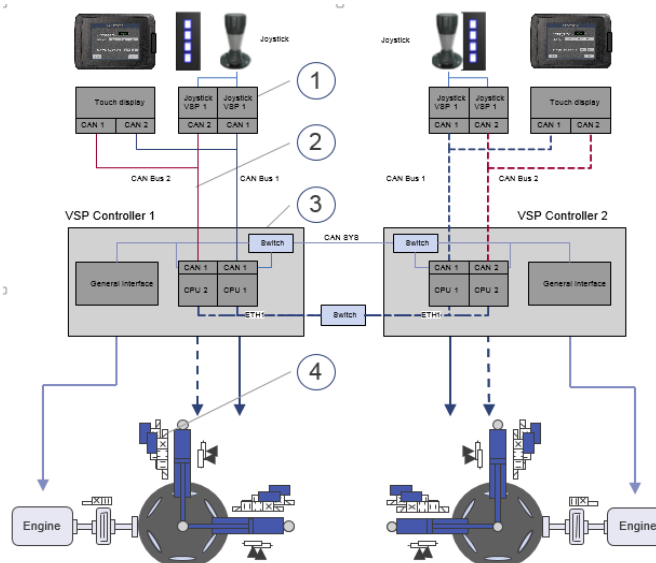


Figura 2.8.2.2: Esquema de un sistema de control electrónico.  
 Fuente: Conferencia "VTSH Control". 28 mayo 2013

1. Estación de control redundante.
2. CAN Bus redundante para la comunicación.
3. Sistema redundante para el control del VSP
4. Sistema hidráulico redundante para el cilindro hidráulico

El interfaz hombre-máquina se realiza a través de un joystick, donde la dirección de empuje es idéntica a la posición del joystick con la cantidad de empuje proporcional a la desviación de este. Para orientar la proa la parte superior del joystick gira a BR o Er, con esta rueda orientamos el buque en la dirección deseada independientemente de la dirección del empuje. Por ejemplo, podemos mover el buque en dirección norte teniendo la proa orientada al este, este dispositivo es de gran utilidad en buques offshore, buques dragaminas y en aquellos que necesiten posicionamiento dinámico.

Habitualmente los dos propulsores se gobiernan con el mismo joystick aunque existe la, poco habitual, de utilizar una joystick para cada propulsor.

## 2.9 Modelos de VSP.

La elección de qué tipo de VSP se va a instalar en un buque no es sólo una cuestión de los criterios hidrodinámicos. En cada caso, las cargas mecánicas

sobre los principales componentes de los sistemas, tales como palas y reductores, así como la cinemática debido al empuje de la hélice requerida y el par a transmitir, tiene que ser determinado y comprobado. Por esta razón Voith Schneider es el que determina el modelo de propulsor.

Actualmente existen 16 modelos de propulsores disponibles.

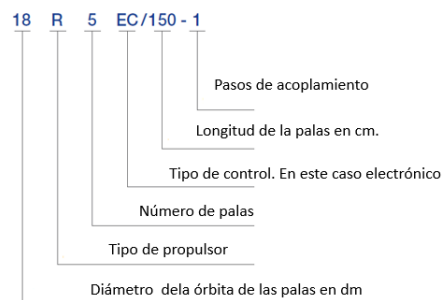


Figura 2.9.1: Significado de la denominan los propulsores.  
Fuente: Propia

Propeller type/size	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Weight without oil	Oil filling	Moment of inertia of rotor including additional water <sup>a</sup>	Max. propeller input power <sup>a</sup>	Propeller input speed <sup>a</sup>
	mm	mm	no.	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	abt. kg	abt. l	kgm <sup>2</sup>	kW**	abt. rpm
10EG/65	1000	650	4	395	0	668	969	242	1390	1274	1960	140	160	180	900
12R4 EC/90-1	1200	912	4	550	0	1020	1185	310	1660	1532	3800	380	460	260	1000
16R5 EC/120-1	1800	1213	5	815	0	1100	1372	410	2145	2021	6700	680	2000	540	670
18R5 EC/150-1	1800	1512	5	950	0	1280	1480	450	2405	2264	9500	1000	3080	780	570
21R5/150-2	2100	1516	5	1100	360	1667	1755	500	2815	2640	16000	1600	6600	950/1000	700-1700
26R5/195-2	2600	1965	5	1340	400	1970	1980	680	3435	3240	27500	2700	20800	1350/1500	720-1200
26R5/195-2 AE45				450	2045						28500				1200-1800
28R5/210-2	2800	2115	5	1370	450	2135	2075	670	3710	3480	33000	3200	29500	1700/1900	720-1200
28R5/210-2 AE50				500	2252						34500				1200-1800
28R5/234-2	2800	2355	5	1455	450	2215	2168	730	3790	3560	36000	3700	29800	1850/2000	720-1200
28R5 ECS/234-2	2800	2355	5	1455	500	2332	2400	730	3790	3560	38500	3700	29800	1850/2000	720-1800
30R5/265-2	3000	2666	5	1580	500	2330	2380	750	4000	3780	47000	4000	44000	2250/2450	720-1200
32R5/265-2	3200	2666	5	1580	580	2475	2373	750	4250	4000	54000	4800	55000	2500/2600	720-1200
32R5 ECS/265-2	3200	2666	5	1580	580	2475	2373	750	4250	4000	54000	4800	55000	2500/2600	720-1200
32R5 ECS/300-2	3200	3016	5	1580	580	2475	2563	750	4250	4000	54000	4800	55000	2500/2600	720-1200
36R6/265-2	3600	2672	6	1900	630	2730	2820	900	4770	4490	76000	7500	104000	3050/3400	720-1050
36R6 ECR/285-2	3600	2872	6	1990	710	2840	2965	950	4765	4490	88000	7500	114000	3800/3900	700-1200
36R6 ECR/300-2	3600	3022	6	1990	710	2840	2965	950	4765	4490	88000	7500	114000	3800/3900	700-1200

A = blade orbit diameter  
 B = blade length (standard)  
 C = number of blades  
 D = height (input shaft)  
 E = pinion offset  
 F = length (input shaft)  
 G = total height (propeller)  
 H = well height  
 I = casing outside diameter  
 J = rotor casing outside diameter

<sup>a</sup> The exact limit values must be established in consultation with us for the individual case of application.

<sup>\*\*</sup> 1st value: full continuous load rating 2<sup>nd</sup> value: intermittent load rating (e.g. VWT)

Figura 2.9.2: Modelos de VSP  
Fuente: VSP, Types and dimensions. Voith Turbo

### 3 TIPOS DE BUQUES CON PROPULSORES VSP.

A continuación vamos a ver los diferentes buques en los que se montan propulsores VSP.

#### 3.1. Remolcadores VOITH WATER TRACTOR (VWT).

Los remolcadores son probablemente el tipo de buques donde más se ha generalizado la utilización de propulsores cicloidales. Hoy en día este tipo de propulsión junto a la azimutal está sustituyendo a la propulsión convencional de uno o dos ejes.

Los primeros remolcadores con propulsión Voith-schneider aparecieron entre 1920 y 1930. En 1950 Wolfgang Bear, de la empresa Voith, diseñó la maniobra de un remolcador con propulsión cicloidal bajo la proa del remolcador y con la maniobra de remolque en la popa. Era el nacimiento de los VOITH WATER TRACTORS<sup>8</sup>. Muchas de las limitaciones de los remolcadores convencionales fueron superadas con la introducción de este concepto totalmente nuevo. Actualmente hay en el mundo más de 1000 remolcadores con esta propulsión [2].

Vamos a ver sus características principales [12].

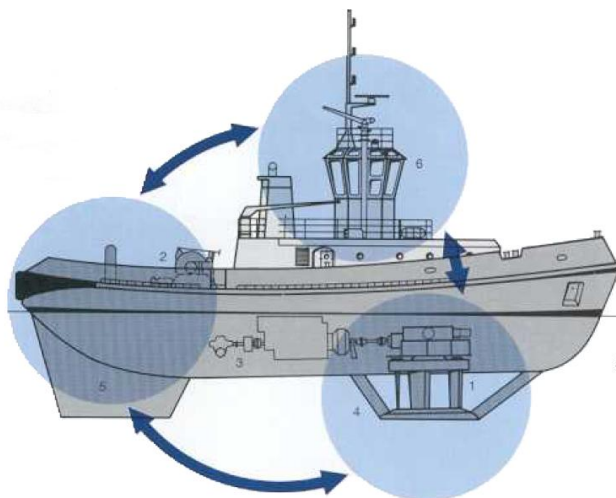


Figura 3.1.1: VOITH WATER TRACTOR

Fuente: Voith Turbo



1. El propulsor está situado en proa, a un tercio de la eslora, con libre entrada y salida de agua en todas las direcciones. Las fuerzas de empuje actúan a proa del Pivot Point o punto de rotación del buque.
2. La maniobra de remolque está a popa del punto de rotación del buque.
3. En un caso ideal, el casco debería albergar solo las máquinas, por lo que en el diseño de un tractor se procurará lograr las mínimas dimensiones necesarias para el cumplimiento de sus cometidos.
4. Por debajo de los propulsores se halla una placa rígidamente unida al casco que, debido a su efecto tobera sobre los propulsores, contribuye a incrementar el empuje generado, además de proteger los propulsores y servir de punto de apoyo cuando el buque entra en dique.
5. Por debajo del cuerpo de popa se encuentra el SKEG o quillote cuyas funciones son aumentar la estabilidad de rumbo, desplazar el centro lateral de gravedad hacia popa, alargando, por tanto, el brazo de palanca entre el centro de empuje de los propulsores y el centro de pivotamiento del buque y, aumenta el área mojada vertical, de manera que el tractor, que actúa como la puerta de arrastre de un pesquero, aumenta la tracción sobre el cabo de remolque en la operación de tiro en modo indirecto. El eje de giro en la evolución es la vertical que pasa por el arco de remolque. Esta característica de diseño permite al Tractor la escolta o toma del cabo a proa del buque y salirse de la misma sin peligro, dando un pequeño paso lateral con el volante, sin dar con su popa en el casco del buque ni ser arrollado por el mismo [14].
6. El puente de gobierno suele tener visión de 360°.

Como el VSP permite la operación a revoluciones constantes del motor, es posible utilizar los motores principales también para accionar máquinas auxiliares. Una exigencia frecuente es que los remolcadores cuenten con un sistema de lucha contra incendios de alta capacidad. En el tractor se puede instalar bombas con una capacidad muy alta para el sistema contra incendios (60, 70 % de la potencia de propulsión). Mientras dura la operación contra incendios, al tractor le queda un margen suficiente de potencia (30 A 40%) residual para maniobrar.

En otro apartado profundizaremos más sobre los VWT.

Diferentes tipos de remolcadores [13]:

### 3.1.1. C Class – Tipo Compacto

Este tipo de remolcador nace para cubrir la necesidad de aquellos puertos que por sus limitaciones naturales necesitan trabajar en espacios confinados, esclusas y áreas estrechas. Es un remolcador con un desplazamiento relativamente pequeño (~500 tons) y una eslora reducida (~24 m) esto le permite estar exento de algunas regulaciones por lo cual se simplifica la inspección y el mantenimiento de equipos.

Tiene una tripulación de 2/3 personas (según el país de operación) y un tiro a punto fijo de entre 50 y 70 tons variando en función de las operaciones a realizar en el puerto.

### 3.1.2. H Class – Tipo Puerto

Es difícil delimitar la frontera entre un tipo de remolcador y otro. Este tipo de remolcador que podíamos denominar “clásico” tiene mucha importancia, por su seguridad en las operaciones y su rendimiento, destacando el tiempo de respuesta y el espacio para poder realizar las maniobras. Otros factores importantes son la disposición del puente de gobierno incluyendo los puestos de control, las defensas, el diseño del casco.

El desplazamiento de este tipo de remolcadores es de alrededor de las 700-800 tons con esloras que varían entre los 28 a 32 m, aumentado significativamente el tiro a punto fijo en estos últimos años hasta las 70-80 tons. En algunos puertos podemos encontrar remolcadores con 100 tons de tiro a punto fijo.

### 3.1.3. E/T Class – Tipo Escolta/Terminal.

Estos remolcadores se caracterizan por tener una eslora y manga sustancialmente mayores, 37m de eslora y 14m de manga, que le confiere una gran estabilidad en caso de tiro indirecto. Las velocidades son asimismo algo superiores, llegando a alcanzar los 14 nudos de velocidad.

Este tipo de remolcador está diseñado para la asistencia de grandes buques como por ejemplo petroleros que requieren una gran distancia para parar, llegando en ocasiones a ser hasta 20 veces la eslora del buque. Esto implica que para un buque de 300-350 m se necesitara una distancia de entre 5 y 6 kilómetros. Para guiar con seguridad estos enormes buques en puertos, áreas confinadas y a través de canales estrechos son necesarios los remolcadores tipo escolta. En algunos puertos europeos con terminales de gas/petróleo es mandatorio el uso de remolcadores tipo escolta.

Los objetivos de la escolta son, por un lado reducir el riesgo de polución debido a varadas o fallo humano/técnico a bordo del buque y por otro que el remolcador sea capaz de asistir al gobierno del buque remolcado. Los trabajos de escolta se realizan como máximo a velocidades de hasta 10-12 nudos y en caso de fallo, buque sin gobierno, el remolcador se coloca transversalmente a la marcha del buque asistido oponiendo toda la obra viva del remolcador.

Gracias al modo indirecto, las fuerzas de gobierno pueden alcanzar más de dos veces el tiro a punto fijo del buque. Estas fuerzas son generadas principalmente por el exclusivo diseño del casco de este remolcador en combinación con el propulsor Voith Schneider. Gracias a la rápida maniobrabilidad de los propulsores Voith, el remolcador puede navegar con máxima seguridad durante este modo de operación.

#### 3.1.4. AHT Class – Tipo Anchor Handler

La tendencia actual de los armadores de remolcadores es tratar que sus buques sean capaces de llevar a cabo diversas tareas y no dedicarlos solo a una. De este modo algunos armadores han construido remolcadores con diferentes



funcionalidades, pueden trabajar en puerto pero a su vez pueden realizar remolque de altura, manejo de anclas, etc.,

Dentro de este grupo incluimos a esos remolcadores que podríamos llamar “multipropósito”. Son remolcadores con mucho espacio en cubierta, grúas con una gran capacidad de elevación, un tiro a punto fijo superior a las 80 tons superando en ocasiones las 100 tons.

Estos remolcadores están dotados de otros medios auxiliares tales como un rodillo a popa para el manejo de anclas o elementos submarinos, una hélice transversal para mejorar más si cabe la maniobrabilidad del buque así como posicionamiento dinámico incorporando.

Los propulsores Voith pueden llevar incorporado el VRS (Voith Roll Stabilization), sistema por el cual, con los mismos propulsores, se crea una fuerza transversal a la escora del buque de modo que se reduce significativamente el balance del mismo. Esto dota al buque de una serie de ventajas entre las cuales destacamos una mayor seguridad en las operaciones así como de confort para la tripulación.

La acomodación es asimismo más amplia entre 15 a 20 tripulantes.

### 3.1.5. Remolcador Contraincendios

Algunos puertos, principalmente en EEUU han construido buques específicamente diseñados para la lucha contra incendios. Es uno de los puntos clave en el plan de contingencia de incendios de puertos con una alta actividad comercial e industrial, como por ejemplo refinerías, instalaciones de almacenamiento de productos químicos, regasificadoras, etc.

En este sentido el buque más conocido es el Warner Lawrence (LAFD Fireboat #2) que opera en el puerto de Los Angeles. Este es un buque con capacidad de remolque aunque su cometido principal es la lucha contra incendios. El buque fue diseñado teniendo muy en cuenta las reacciones producidas por los cañones de agua, capaces de lanzar 2.397 m<sup>3</sup>/s a una distancia de 150 m o de crear una

cortina de agua de 250 m de ancho. Solo con la reacción de los monitores el buque es capaz de navegar a entre 5 y 6 nudos de velocidad.



Figura 3.1.5.1 : Warner Lawrence (LAFD Fireboat #2)

Fuente: <http://nonplused.org/panos/fb2/index.html>. AGO 14

### 3.2. Dragaminas.

En los dragaminas se necesita una máxima maniobrabilidad, poco ruido y un alto grado de resistencia al choque.

Los VSP se están instalando en buques dragaminas como propulsores principales que, a las velocidades que se utilizan durante las operaciones de caza de minas, con baja carga en los propulsores, da como resultado una mínima firma acústica por la corriente de expulsión de los VSP. Los engranajes Voith también contribuyen a un funcionamiento silencioso.

Entre otras marinas de guerra (EE.UU, Inglaterra, Turquía...), la Armada Española tiene cinco dragaminas de la clase segura (Segura, Sella, Tuirra, Duero y Tambre) equipados con VSP [15]. Son buques de estructura de poliéster reforzado con fibra de vidrio, de construcción monolítica, con refuerzos longitudinales en fondo y cubiertas y refuerzos transversales en los costados.



Figura 3.2.1: Dragaminas clase Segura

Fuente: Armada Española

Disponen de dos módulos de propulsión independiente, accionado cada uno por un propulsor VSP modelo 18 GH 135.



Figura 3.2.2: VSP 18 GH 135 de cazaminas clase Segura

Fuente: Propia

Los propulsores VSP son accionados por dos motores diésel BAZAN-MTU 6V396 TB83 (560 KW a 1940 rpm) para tránsitos. El motor está acoplado a un reductor ZF cuya función es conseguir unas revoluciones en el piñón de entrada del VSP de 750 rpm y de 116 rpm en las palas cuando el motor desarrolla 1940 rpm.

Durante las operaciones de caza los propulsores son accionados por dos motores eléctricos COMBIMAC (125 KW a 1200 rpm) y 63 rpm en las palas. Como vemos las palas giran más despacio para conseguir una firma acústica menor.

El buque dispone además de dos empujadores transversales (BOWTRUSTERS) en proa (55 KW a 1850 rpm) para posicionamiento dinámico.

### 3.3. Grúas flotantes autopropulsadas.

Estas grúas se utilizan para trabajos tales como rescate, mantenimiento e instalación de aerogeneradores, carga y descarga de mercancías y trabajos de reparación [16]. Las plataformas se encuentran en los puertos o en alta mar. En ambos casos es esencial para la grúa flotante maniobras precisas a su destino. Una vez allí, debe mantener su posición sin amarre o remolcadores.

Debido a estos requisitos específicos los VSP son sistemas adecuados para el gobierno de estas grúas.

Disponen de un VSP en la popa y otro, con un ligero desplazamiento, en la proa o bien dos propulsores a popa y uno a proa. Los propulsores son accionados por tres motores eléctricos SIEMENS, dos de 600 KW y otro de 400 KW.

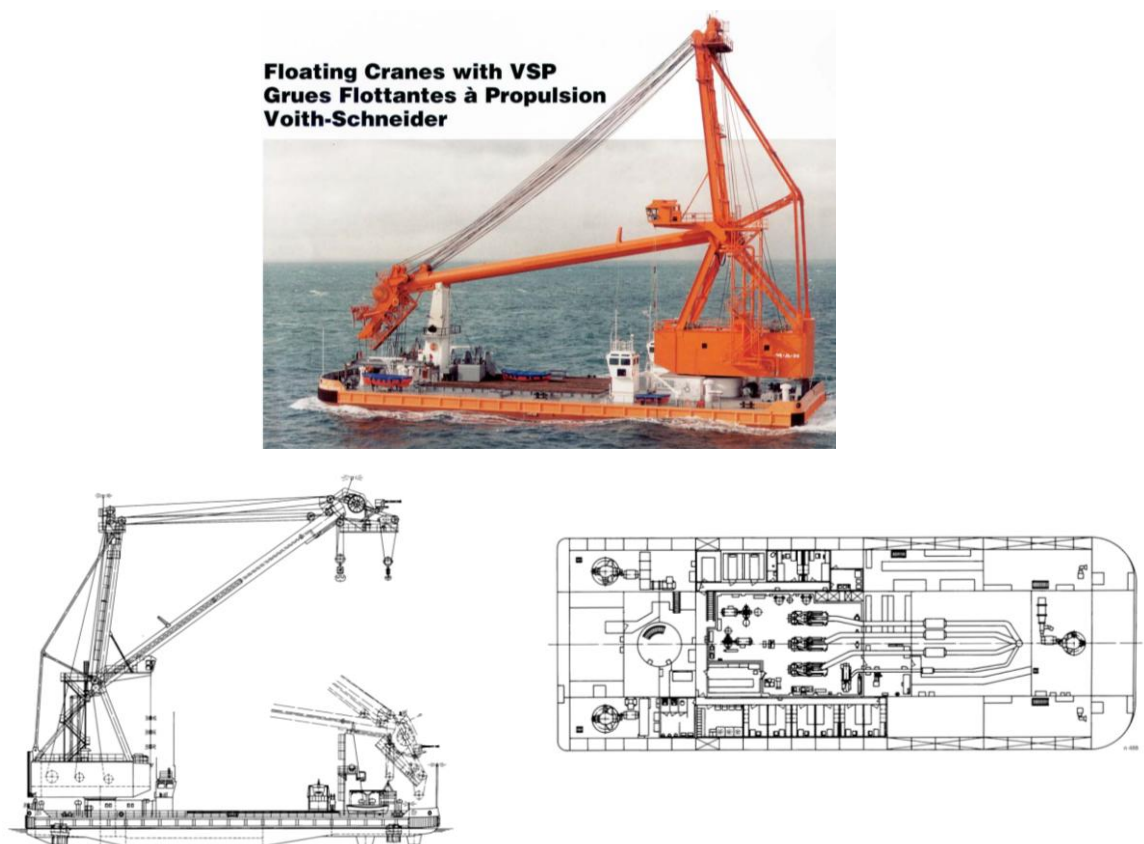


Figura 3.3.1: Grúa Flotante de 200 toneladas construidas para Arabia Saudí

Fuente: [www.voith.com/en/vohs\\_schwimmkran\\_oi.pdf](http://www.voith.com/en/vohs_schwimmkran_oi.pdf). Julio 2014

### 3.4. Buques Offshore [17].

Los buques offshore deben compatibilizar la máxima maniobrabilidad con moverse en entornos con fuertes vientos, mala mar y corrientes peligrosas. Además deben mantener la posición de forma eficaz cuando trabajan al costado de las plataformas.

Se han comenzado a construir buques de este tipo con propulsores Voith que además de asegurar que el buque se puede desplazar en cualquier dirección de forma instantánea reduce el movimiento de balance al disponer del electronic rollstabilization unit (ECR).

Las ventajas que ofrecen los VSP a los buques offshore son:

- Una mayor eficiencia. Un buque equipado con VSP puede trabajar en la plataforma, incluso en condiciones climáticas adversas que a menudo obligan a los otros buques para pasar unos días de espera para que el mar se calme.
- Posibilidad de cambio de dirección de forma rápida y precisa. En el caso del M/V Forte se tarda en invertir la marcha 3 segundos. Este buque presta sus servicios en el golfo de Mexico [18].



Figura 3.4.1: M/V Forte

Fuente: Voit Turbo

- Bajo tiempo de inactividad por ser una tecnología de bajo mantenimiento.
- Reducción del balance cuando el buque está parado o navegando.

A continuación vamos a ver diferentes buques offshore, todos tienen en común que utilizan propulsores VSP para moverse, para posicionamiento dinámico y para la disminución del movimiento de balance. Suelen completarse con Bowtrusters.

#### 3.4.1. Sea Installer [19].

Buque de instalación de granjas eólicas marinas.

Propulsión: 3 VSP 36 R6 ECR/285-2.

Dimensiones: 130,8mx39mx5,80m.

Velocidad máxima: 12 nudos.



Figura 3.4.1.1: Sea Installer trabajando.

Fuente: Voith Turbo

#### 3.4.2. North Sea Giant [20].

Buque de construcción Offshore.

Propulsores: 3 VSP 36R6 ECR/300-2 en pops

2 VSP 36R6 ECR/280-2 en la proa

Propulsión: 5 motores eléctricos de 3800 kW.

Dimensiones: 154,6mx30mx7 m.

Velocidad máxima: 16 nudos.



Figura 3.4.2.1: North Sea Giant.

Fuente Voith Turbo

### 3.4.3. Edda Fldes

Flotel y buque de servicio.

Propulsión: 5 VSP 32R5 ECR/256-2

Dimensiones: 130mx27x6,20m.

Velocidad máxima 12,5 nudos



Figura 3.4.2.2: Flotel Edda Fldes.

Fuente: Voith Turbo

### 3.5. Transbordadores

Existen numerosos transbordadores con propulsión Cicloidal. El primer transbordador, con rampa en proa y en popa, equipado con VSP entró en servicio en 1937. El “Lymington” operó en Gran Bretaña durante 60 años.

Los VSP se pueden utilizar para todo tipo de transbordadores aunque donde más se utilizan es en los remolcadores de doble frente, es decir, que tienen rampa por la popa y por la proa [21]. En la imagen de abajo podemos ver diferentes formas de ubicación de los propulsores.



Figura 3.5.1: Ubicaciones posibles de los VSP

Fuente: Voith Turbo

**Transbordadores con dos VSP:** Es la forma más común de instalación. Se instala un propulsor centrado a proa y a popa del buque. Cuando debido a los buques son pequeños se pueden instalar diagonalmente en los extremos del buque.

**Transbordadores con tres VSP:** Se utilizan en aquellos que tienen que recorrer grandes distancias o cuando las condiciones del medio requieren que se navegue siempre en el mismo sentido. Estos transbordadores no son simétricos sino que tienen forma en la proa. Se instalan dos propulsores en las aletas y uno en la proa.



Transbordadores con cuatro VSP: Se montan en aquellos que requieren una gran potencia o navegan en aguas poco profundas.



Figura 3.5.2: Transbordadores del Bósforo.

Fuente: Voith Turbo

### 3.5.1. Transbordadores híbridos.

En el verano del 2013, han entrado en servicio los dos primeros transbordadores híbridos. Serán construidos por la compañía Ferguson Shipbuilders de Glasgow para el armador CMAL.

Cada Transbordador estará equipado con 2 Propulsores Voith Schneider Propeller (VSP) con una potencia de entrada de 375 kW por Propulsor. Con este concepto híbrido, el astillero tiene como objetivo la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> hasta en un 20 por ciento.

Estas embarcaciones serán las primeras de su clase en combinar un sistema de propulsión diesel-eléctrico con tecnología de baterías de litio.

Los transbordadores operarán en varias rutas en aguas escocesas que se caracterizan por sus fuertes corrientes y vientos.

Ambos transbordadores estarán equipados con dos Propulsores Voith Schneider Propeller cada uno, los cuales respaldan el concepto amigable con el ambiente debido a su alta eficiencia y bajo calado.

Los Propulsores Voith Schneider Propellers serán del modelo 16R5 EC/90-1 con

un arreglo diagonal y no en la posición central a proa y popa como en otros casos.

Para quitar carga a los motores diésel de manera temporal, los bancos de baterías de litio se cargan durante la noche, de esta manera, el sistema híbrido reduce el consumo de combustible así como las emisiones de CO<sub>2</sub> con un ambicioso objetivo: la reducción de emisiones de hasta un 20 por ciento.

Adicionalmente a los beneficios económicos, este sistema conduce a una importante reducción del ruido y estrés mecánico, especialmente durante la llegada y salida del puerto

Cada uno de los nuevos Transbordadores transportarán aproximadamente 150 pasajeros y 23 automóviles, con una velocidad de servicio de 9 nudos.

Cada Transbordador estará equipado con 2 Propulsores Voith Schneider Propeller (VSP) con una potencia de entrada de 375 Kw por Propulsor. Con este concepto híbrido, el astillero tiene como objetivo la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> hasta en un 20 por ciento.

### 3.6. Buques especiales.

Dentro de este apartado tenemos un tipo especial de remolcadores dedicados a empujar por la proa gabarras. Son buques con la proa plana y que en vez de remolcar empujan. Llevan instalados dos VSP 2 VSP 21GII/150. En la Armada Española se utilizan buques de este tipo, aunque no con VSP, para realizar maniobras con submarinos.



Figura 3.6.1: Bow steering module of 1908 kW/2560 HP

Fuente: Voith Turbo Marine GmbH & Co. KG

#### 4. TECNOLOGIAS DESARROLLADAS A PARTIR DE LOS VSP

En este apartado vamos a enumerar una serie de equipos/aplicaciones que, o bien se han desarrollado para mejorar el funcionamiento de los VSP, o han nacido como una modificación de estos para otras aplicaciones.

##### 4.1. Sistema de posicionamiento dinámico [22] (DP).

Los nuevos requerimientos para las unidades offshore y para los buques cazaminas hacen que estas deban permanecer en una posición fija con un grado de exactitud elevado y permanecer en esta posición durante largos periodos de tiempo o bien seguir unas derrotas precisas a bajas velocidades. Los sistemas de posicionamiento dinámico se han convertido en equipos standard.

Explicando de una forma básica que es un equipo de posicionamiento dinámico diremos que es aquel que se utiliza para mantener al buque en una posición deseada, con un rumbo deseado para proporcionar una plataforma estable para diferentes tareas. Vemos que para ello es necesario un funcionamiento excepcional de la planta propulsora. La planta propulsora debe ser capaz de alcanzar los siguientes requerimientos:

- El empuje sea igual de eficiente en todas las direcciones.
- Cambios extremadamente rápidos y precisos en el empuje.
- Control del empuje sin saltos en magnitud y dirección.

Con el control electrónico de la propulsión VSP Voith ofrece una herramienta excepcional para realizar los requerimientos de empuje ordenados por un control de posicionamiento dinámico.

A continuación vamos a ver de una forma sintetizada cómo funciona el sistema de posicionamiento dinámico de los cazaminas clase Segura [23].



Figura 4.4.1: Consola CPG  
Fuente: Armada Española

Estos buques tienen tres posibilidades de gobierno:

- a. Modo de control directo: El operador gobierna el buque de forma convencional. Con el timón se gobierna a Br o Er y con las palancas se da empuje avante o atrás. Corresponde a la parte derecha de la consola de la figura 43.
- b. Modo manual asistido: Permite manejar el buque por medio de joystick generando empujes y momentos proporcionales al desplazamiento de la posición de reposo de este medio de control. La utilización del joystick está prevista para generar empujes con el buque prácticamente parado y no para navegación libre. En caso de querer utilizar este medio cuando la velocidad del buque es superior a dos nudos, el operador debe generar órdenes de empuje y órdenes de giro, evitando emitir órdenes de empuje transversal.
- c. Modo automático que incluye: piloto automático, mantenimiento de la posición, mantenimiento del rail y navegación en círculos.

#### 4.1.1. Mantenimiento de la posición.

Para el mantenimiento de la posición el sistema debe calcular el error de posición ( $Err_{pos}$ ), ya que si este es cero no haría falta generar empuje.

$$Err_{pos} = \sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2}$$

Siendo  $(x_0, y_0)$  las coordenadas del punto donde se desea mantener la posición y  $(x, y)$  la posición actual del buque.

Dependiendo de la distancia al punto deseado de mantenimiento de la posición se distinguen cuatro casos:

- Cuando el error de posición es superior a 200 metros. En este caso el buque orienta su proa hacia el punto  $(x_0, y_0)$  actuando solamente sobre la componente transversal de los VSP. Cuando el punto deseado se encuentra dentro de un ángulo  $15^\circ$  con la proa sistema da orden para dar empuje avante. En estas condiciones el paso nunca supera el 80%.
- Cuando el error de posición está entre los 200 y los 50 metros el sistema continúa orientando la proa hacia el punto de destino y generando la orden de velocidad deseada ( $V_d$ ) proporcional al error de posición.

$$vd \left( \frac{m}{s} \right) = \frac{Err_{pos} (m)}{100 (s)}$$

- Al estar el error de posición entre los 50 y los 20 metros el sistema comprueba si el destino está dentro de los  $10^\circ$  de la proa o de la popa. De no ser así orienta el buque con los empujadores de popa para que la que esté más próxima, proa o popa, se oriente al punto de destino hasta que entre en un ángulo menor a  $5^\circ$ . Una vez alcanzada esta situación genera un empuje con la dirección de la recta que une la posición actual del buque con la posición que se desea mantener e intensidad función del error de posición.
- Si el error de posición es menor a 20 metros, el sistema calcula el rumbo favorable en función de la velocidad y dirección del viento y de la corriente. Cuando la capacidad del empuje transversal es suficiente para mantener el buque a pesar del efecto del viento y la corriente, el rumbo favorable es el que ordena el operador. Si el empuje de los propulsores no es capaz de mantener el rumbo ordenado por el operador el sistema orienta el buque con la proa o la popa lo más próxima a la solicitada por el operador, en una

dirección en la que origina un menor empuje transversal el efecto combinado de corriente y viento. Una vez calculado el rumbo favorable se crea un empuje para llevar el buque al punto solicitado y otro transversal para orientar el buque al rumbo favorable.

Para calcular el rumbo favorable el sistema calcula las fuerzas máximas en sentido transversal originadas por el viento y la corriente.

$$F_{tc} = 40 \times V_c^2$$

$$F_{tv} = 0,22 \times V_v^2$$

Si  $F_{tc}+F_{tv}$  es mayor a 12 nudos entonces se calcula el rumbo favorable. El rumbo favorable es aquel para el que los esfuerzos transversales son mínimos. Para obtenerlo, el programa calcula para todas las posiciones del buque, con incremento de  $1^\circ$  cual es el valor mínimo del valor absoluto del esfuerzo transversal, y determina como rumbos favorables aquellos que alcanzan el valor mínimo. Las dos soluciones posibles corresponden a orientar la popa o la proa a esta dirección favorables, seleccionando el programa el que está más próximo al rumbo solicitado por el operador.

#### 4.2. Voith Turbo Fin (VTF) [24].

Este dispositivo se utiliza en los Skeg o quillotes de los remolcadores con sistema Voith. Como vimos en la página 24 por debajo del cuerpo de popa se encuentra el SKEG o quillote cuyas funciones son aumentar la estabilidad de rumbo, desplazar el centro lateral de gravedad hacia popa, alargando, por tanto, el brazo de palanca entre el centro de empuje de los propulsores y el centro de pivotamiento del buque y, aumenta el área mojada vertical, de manera que el tractor, que actúa como la puerta de arrastre de un pesquero, aumenta la tracción sobre el cabo de remolque en la operación de tiro en modo indirecto.

El método indirecto se puede realizar por un remolcador en la popa de un buque a velocidades superiores a los 4 o 5 nudos. Con este método, los remolcadores hacen uso de las fuerzas hidrodinámicas creadas por el flujo del agua al incidir

sobre el Skeg y/o obra viva. La posición a popa del Towing Point y consecuentemente la corta distancia entre el Towing Point y el centro de presión implica que solamente se necesita una pequeña potencia de gobierno lateral para mantener al remolcador en la posición más efectiva ya así producir fuerzas de gobierno más altas al buque asistido.

Con el método indirecto se pueden alcanzar fuerzas mucho más altas que las de tracción a un punto fijo. Se puede alcanzar un 150% de la tracción al punto fijo.

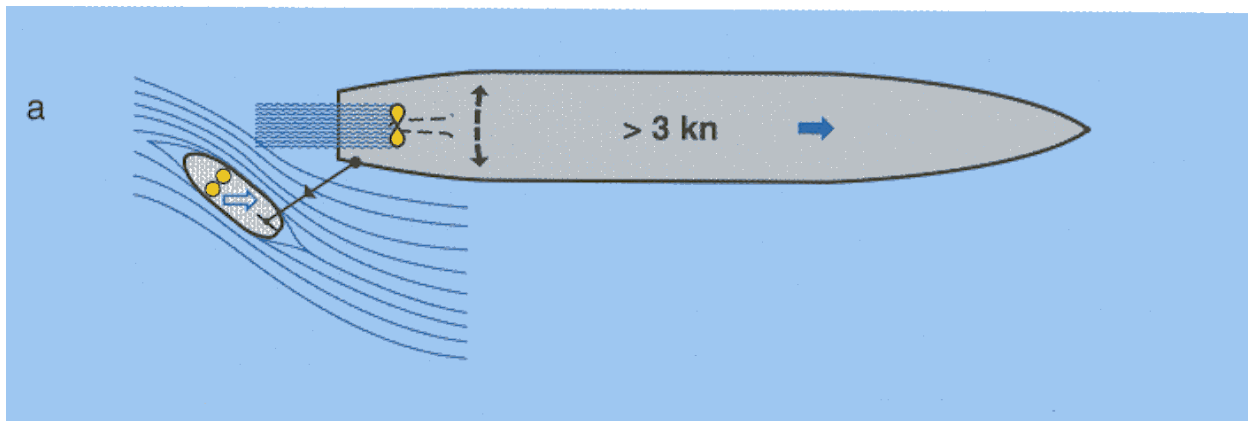


Figura 4.2.1: Remolcador trabajando en método indirecto

Fuente: Voith Turbo

Cuando el skeg del remolcador forma un ángulo con el flujo de agua se crea la fuerza que permite gobernar la popa del buque. El al pasar por a cara posterior del Skeg l hace de forma turbulenta como se puede apreciar en la siguiente figura.

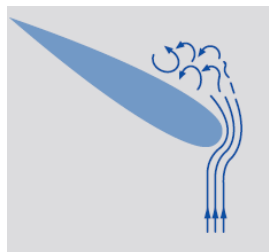


Figura 4.2.2: Turbulencias en el SKEG durante el método indirecto.

Fuente: Voith Turbo

La aparición de estas turbulencias limitan el ángulo del remolcador respecto al buque remolcado, limitando la fuerza de tiro (A mayor ángulo mayor fuerza). Al objeto de eliminar estas turbulencias y conseguir un flujo laminar por las dos caras del SKEG Voith ha desarrollado el Voith Turbo Fin que se basa en el efecto magnus.

Efecto Magnus: Un objeto en rotación crea un remolino de aire a su alrededor. Sobre un lado del objeto, el movimiento del remolino tendrá el mismo sentido que la corriente de agua a la que el objeto está expuesto. En este lado la velocidad se incrementará. En el otro lado, el movimiento del remolino se produce en el sentido opuesto a la de la corriente de agua y la velocidad se verá disminuida. La presión se ve reducida en una cantidad proporcional al cuadrado de la velocidad, con lo que la presión será menor en un lado que en otro, causando una fuerza perpendicular a la dirección de la corriente de agua. Esta fuerza desplaza al objeto de la trayectoria que tendría si no existiese el fluido.

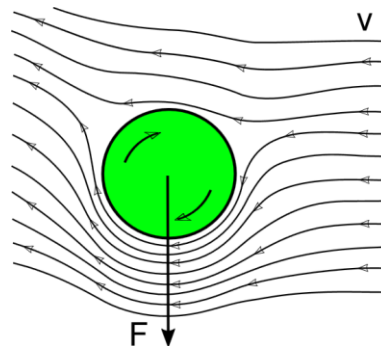


Figura 4.2.3: Efecto Magnus.

Fuente: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/15/Magnus\\_effect.svg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/15/Magnus_effect.svg) AGO 2014

A partir de este efecto se crearon los rotores Flettner que se han empleado, entre otras cosas, para la propulsión de marina, tenemos como ejemplo el E-ship 1 de Ecoliner.

El VTF es un rodillo situado en la parte posterior de Skeg, que gira accionado por un motor eléctrico y que consigue que el flujo de agua por las dos caras sea laminar.



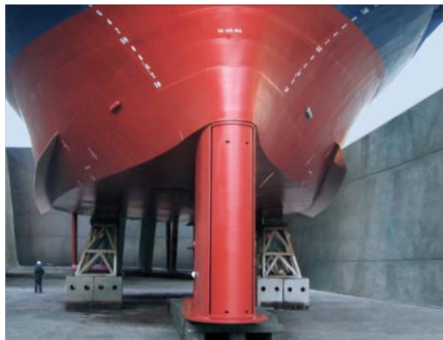


Figura 4.2.4: Voith turbo fin  
Fuente: Voith turbo

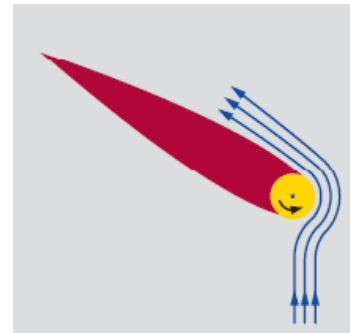


Figura 4.2.5: Flujo laminar con Voith turbo fin  
Fuente: Voith Turbo

Con la instalación del VTF se consigue que el remolcador pueda hacer tiro indirecto con ángulos mayores respecto al buque remolcador, se consigue un incremento de la fuerza de tiro de un 25%.

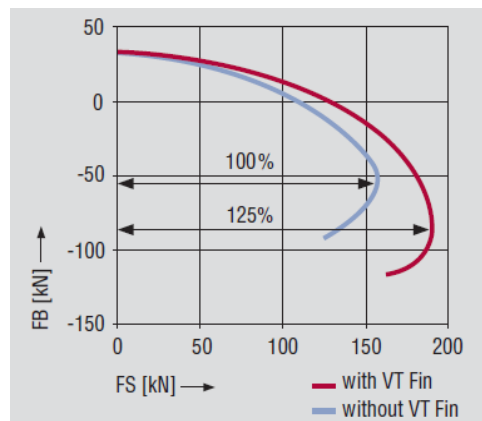


Figura 4.2.6: Incremento de la fuerza con voith turbo fin  
Fuente: Voith Turbo Marine

El VTF lo mueve un pequeño motor hidráulico y funciona automáticamente en función de las órdenes de palanca y volante.

#### 4.3. Voith Cycloidal Rydder (VCR) [25].

Este es sistema de gobierno está todavía en fase de desarrollo y todavía no se ha instalado en ningún buque salvo para pruebas. Sirve para todo tipo de buques que necesitan gran maniobrabilidad en todo el rango de velocidades aunque su mercado potencial está sobre todo en buques de guerra y mega yates.



Figura 4.3.1: Voith Cycloidal Rudder

Fuente: Voith Schiffstechnik

El VCR es una modificación del VSP de cuatro palas al que solamente se le dejan dos y se usa en combinación con hélices de propulsión convencionales. La idea es que el VCR actúe con dos propósitos. De forma pasiva actúa como un timón convencional y de forma activa actúa como un VSP, es decir da propulsión y gobierno a la vez.



Figura 4.3.2: Imagen de un VSP de 4 palas convertido en VCR.

Fuente: Voith Turbo Marine

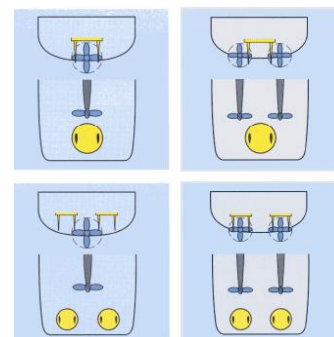


Figura 4.3.3: Posibilidades de instalación del VCR

Fuente: Voith Turbo Marine.

#### 4.3.1. Modo Pasivo

En el modo pasivo las palas permanecen fijas y solamente gira el rotor 30° banda y banda. De esta forma se generan fuerzas iguales a las que generaría un timón convencional.

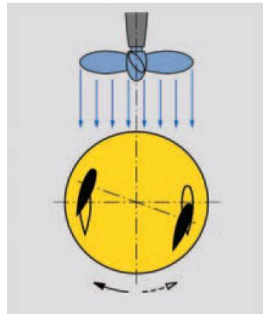


Figura 4.3.1.1: Funcionamiento en modo pasivo.

Fuente: Voith Turbo Marine

La forma de funcionamiento del VCR es idéntica a la de un timón convencional<sup>3</sup> y se utiliza a velocidades de crucero. La diferencia está en que los timones convencionales están diseñados para producir fuerzas de gobierno suficientes incluso a velocidades pequeñas (corrientes de expulsión de las hélices pequeñas), esto hace que a velocidades elevadas, en las que la corriente de expulsión de las hélices es grande, el timón esté sobredimensionado y produzca mayor rozamiento. Por el contrario, el modo pasivo del VCR solamente se utiliza para elevadas velocidades, el área de las palas se puede diseñar más pequeña y las pérdidas por apéndices se reduce notablemente. Como consecuencia de la reducción del tamaño de la pala se reduce la radiación de ruido acústico.

#### 4.3.2. Modo activo.

En el modo activo, el rotor del VRC gira y entonces el sistema funciona como un VSP. Se consigue un empuje instantáneo en los 360° y con la magnitud que se desee. El control en la dirección y magnitud del empuje se consigue con un mínimo consumo de energía. En esta condición se puede poner la propulsión principal del buque en stand by.

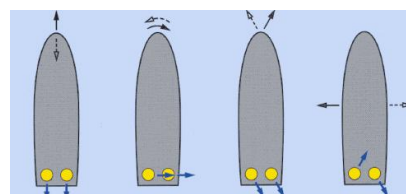


Figura 4.3.2.1: Funcionamiento en modo activo.

Fuente: Voith Turbo

Este modo de funcionamiento se selecciona para bajas velocidades cuando se requiere una alta capacidad de maniobra. Otra de las ventajas del VCR es que al proporcionar empuje en cualquier dirección sirve como sistema de “vuelta a casa” en caso de caída de la propulsión principal.

Como veremos en el siguiente punto también puede funcionar como estabilizador de los movimientos de balance del buque.

Vamos a recopilar las ventajas que ofrece el VCR:

- a. Timón de baja resistencia durante la navegación a altas velocidades. Como consecuencia de poder cambiar de modo pasivo a activo, el área del timón se puede diseñar para la velocidad de servicio del buque. Con esto se consigue reducir la resistencia de la pala del timón sobre todo para buques de alta velocidad. También se consigue una reducción de firma acústica del buque (importante en buques de guerra).
- b. Mejora de la maniobrabilidad del buque en comparación a la que se consigue con la propulsión convencional. Con la instalación de dos VCR se consigue la posibilidad de realizar todas las maniobras necesarias en aguas restringidas o durante el atraque sin la asistencia de remolcadores.
- c. Redundancia de la propulsión y gobierno. Al ser los VCR independientes de la propulsión principal en caso de un black-out de la propulsión principal seguiremos teniendo propulsión de emergencia y gobierno.
- d. Propulsión para aplicaciones especiales: El VCR se puede utilizar no solo como propulsión de emergencia sino que la podemos utilizar como propulsión principal para bajas velocidades. Con el VCR, dependiendo del diseño se pueden conseguir velocidades de 6 a 8 nudos.

#### **4.4. Amortiguación del movimiento de balance [26,27] .**

Voith ha desarrollado una nueva tecnología para reducir el movimiento de balance de los buques especialmente a bajas velocidades, cuando están parados o

fondeados. Tanto los VSP como lo VCR pueden producir los momentos adecuados para amortiguar el balance con estados de mala mar.

El requerimiento técnico para estabilizar a un buque es suprimir o disminuir al máximo el movimiento de balance que es producido por el oleaje. Las olas producen un momento escorante sobre el buque.

Generalmente la estabilización del balance está dividida en dos áreas:

- Métodos activos.
- Métodos pasivos.

Los métodos activos producen un momento adrizante por medio de dispositivos controlados activamente. Un sensor detecta el movimiento de balance un regulador ordena al dispositivo crear un momento que contrarreste el balance. Como ejemplos de estos dispositivos tenemos:

- Aletas estabilizadores.
- Tanques estabilizadores.

La ventaja de estos sistemas es la buena capacidad de amortiguamiento que tienen del movimiento de balance. Las desventajas son las siguientes:

- Complejos y caros.
- Mucho peso, particularmente el líquido utilizado para rellenar los tanques estabilizadores.
- Necesitan un espacio considerable.
- Necesitan gran mantenimiento.
- Las aletas estabilizadoras solamente funcionan a partir de una velocidad.
- Las aletas estabilizadoras producen resistencia al avance.
- Las aletas incrementan el calado de los buques.

El método pasivo trabaja con el principio de incrementar la resistencia al balance y así amortiguar el movimiento de balance. Como ejemplo tenemos las quillas de

balance. El inconveniente que tienen es que son poco efectivas, inoperantes con el buque parado y producen resistencia al avance.

El hecho de poder generar y variar empujes de forma muy rápida hace posible utilizar los VSP y los VCR para una reducción eficiente del movimiento de balance, en especial cuando el buque está parado o a bajas velocidades allí donde los otros sistemas son poco o nada efectivos.

El sistema es fácil de comprender, el buque escora por efecto de las olas y los VSP/VCR generan un momento adrizante que amortigua o elimina el balance.

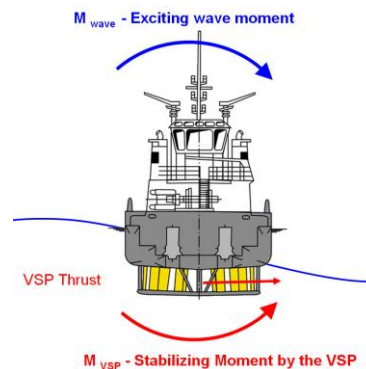


Figura 4.4.1: Modo en el que los VSP disminuyen el movimiento de balance.  
Fuente: Voith Turbo

Cuando el buque utiliza los VCR en modo activo o los VSP para la amortiguación del balance, el empuje destinado a amortiguar el balance se debe superponer al empuje destinado a la propulsión mediante un control inteligente.

El casco dispone de unos sensores de balance que envían señales a los controles de los VSP/VCR junto con las de empuje longitudinal y transversal. En caso de buques parados o con posicionamiento dinámico las señales para la amortiguación del balance tienen prioridad. Con el buque navegando las señales de máquina y gobierno son dominantes.

A continuación vamos a ver los estudios que el profesor Söding (University of Technology in Hamburg-Harburg) realizó simulando una corveta de 80 metros equipada con dos VCR y con velocidad cero.

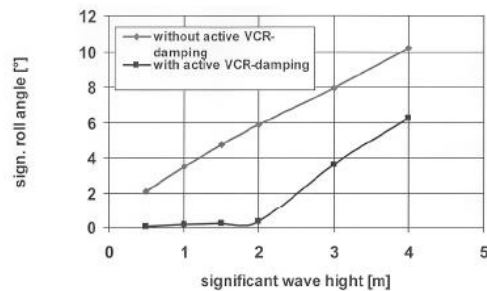


Figura 4.4.2: Comparativa entre VCR amortiguando el balance y sin amortiguarlo  
Fuente: Jürgens, Torsten y Flipse.

Se puede comprobar que la reducción del balance hasta olas de dos metros es completa y a partir de ahí sigue siendo significativa.

A continuación vamos a ver qué ocurre si cambiamos los dos VCR por dos VSP en un buque offshore de 83 metros de eslora.

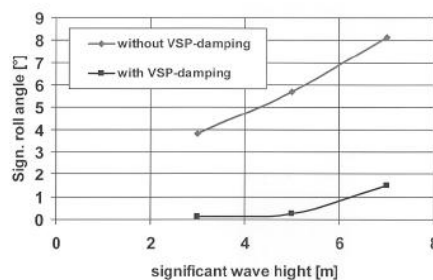


Figura 4.4.3: Comparativa entre VSP amortiguando el balance y sin amortiguarlo  
Fuente: Jürgens, Torsten y Flipse

Con los VSP hay una energía de estabilización más eficiente. Es capaz de mantener el buque sin balance hasta una altura de ola de casi 5 metros.

#### 4.5. Robert Allan Voith Escort. (RAVE) [28].

El remolcador RAVE es un nuevo concepto de un remolcador de escolta muy maniobrable, de alto rendimiento que ha sido desarrollado conjuntamente por Robert Allan Ltd y Voith Turbo Marine. A día de hoy todavía es un proyecto, no se ha construido ninguno de momento.

La característica única del concepto RAVE es la alineación longitudinal de las dos unidades de Voith en contraste con la configuración transversal más convencional.

El diseño ofrece unas características de generación de fuerza muy precisa y mejorada, necesaria no sólo por las exigencias de escolta (tiro indirecto), sino también muy importante, para trabajar en zonas de puerto muy estrechas y en canales.



Figura 4.5.1: RAVE

Fuente: Robert Allan LTD

¿Qué motivos han llevado al desarrollo del RAVE y a no seguir con los VWT convencionales?:

- La mayoría de los puertos y los canales tienen una geometría confinada.
- Los buques cada vez son mayores y cada vez están más sometidos al efecto del viento.
- Los remolcadores trabajando al costado del buque pueden ser beneficiosos pero solamente si están bien diseñados para la tarea:
  - Se necesitaría menos anchura o longitud en las esclusas de los canales.
  - Al ser mayor la superficie de contacto del buque con el remolcador, las presiones en las defensas son menores.
  - Se consigue un mayor control del buque en todas las direcciones.
- El poner los VSP a proa y a popa dan la posibilidad de crear máximo empuje en todas las direcciones. Con propulsores colocados en el primer tercio de la eslora se pierde empuje en la dirección transversal.
- Crea una distribución uniforme del empuje a lo largo del casco cuando trabaja en el costado.



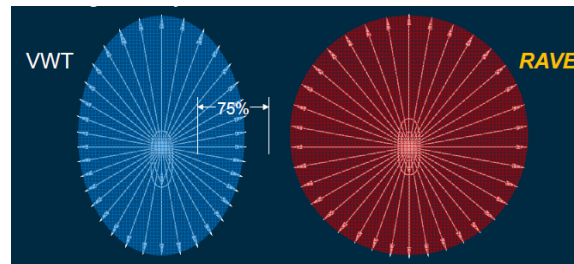


Figura 4.5.2: Comparativa del empuje entre un VWT y un RAVE

Fuente: Robert Allan LTD

A continuación vamos a ver algunas de las formas de trabajo del RAVE:

- a. Se puede aplicar empuje en cualquier dirección sin tener que orientar el remolcador.

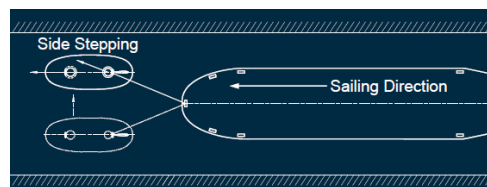


Figura 4.5.3: Cambio de la dirección de tiro sin cambiar la proa del remolcador.

Fuente: Robert Allan LTD

- b. Se puede ayudar a gobernar el buque aplicando empuje al cambiar el remolcador de posición sin cambiar su proa o simplemente cambiando el rumbo del remolcador sin variar el empuje.

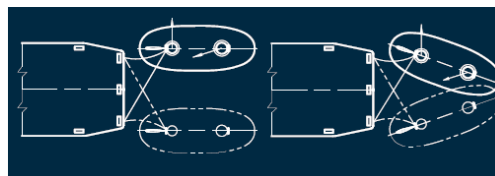


Figura 4.5.4: Formas de asistencia al gobierno del buque con el RAVE.

Fuente: Robert Allan LTD

- c. El Rave es capaz de ayudar a frenar el buque y asistirlo en el gobierno al mismo tiempo.

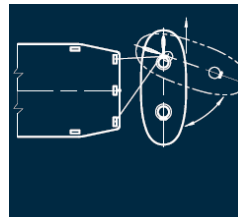


Figura 4.5.5: Asistencia al gobierno y al frenado.

Fuente: Robert Allan LTD

- d. Como el RAVE es capaz de aplicar empuje en cualquier dirección, puede asistir al buque amarrado al costado con una o dos amarras.



Figura 4.5.6: Rave asistiendo al costado del buque.

Fuente: Robert Allan LTD

- e. Durante la fase de aproximación del buque al muelle el remolcador es capaz de empujar con toda su potencia independientemente de la orientación que tenga respecto al buque. Empujando a máxima potencia con el remolcador abarloado se crea una mínima presión en el caso del buque al repartirse a lo largo de la eslora del remolcador.

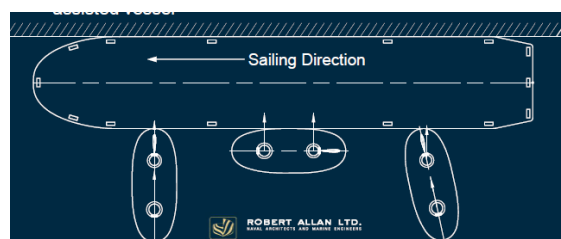


Figura 4.5.7: Posibles orientaciones en las que puede empujar el RAVE

Fuente: Robert Allan LTD

Para finalizar vamos a enumerar las ventajas del RAVE respecto a otros remolcadores:

- a. El Rave puede trabajar de forma segura muy cerca de la amura o la opa del buque asistido. El trabajar muy cerca de la popa permite ocupar una

posición más efectiva para asistencia en el gobierno y empujar o tirar de la popa.

- b. Se consigue una asistencia por tiro indirecto mejorada al estar uno de los propulsores en las proximidades del Skeg. Se consigue incrementar la fuerza de gobierno entre un 50 y 100% en comparación a la que generaría solamente el Skeg. Nos podemos plantear, debido a esto último, la posibilidad de reducir el tamaño del Skeg o incluso eliminarlo.
- c. Se consigue un empuje homogéneo en los 360°.
- d. Posibilidad de trabajar en zonas muy confinadas.
- e. Disponer de Chigre en proa y en popa le dan una gran flexibilidad. viento y olas.
- f. Capacidad de la posición independientemente de la orientación del remolcador respecto a la corriente.
- g. Se puede instalar en cualquier remolcador sin importar el tamaño.
- h. Mejor distribución de los pesos de los propulsores a lo largo de la eslora del remolcador.
- i. Mejor comportamiento en la mar con paso reducido debido al comportamiento antibalance de los VSP.

## 5. PROPULSION CICLOIDAL VERSUS AZIMUTAL

A pesar de que hoy en día todavía se utilizan remolcadores convencionales con una o dos hélices a proa, la tendencia es a sustituirlos por remolcadores con propulsión azimutal o cicloidal. En este apartado, tras una breve explicación del sistema de propulsión azimutal lo compararemos con el cicloidal. Puedo adelantar que este último resulta claramente superior.

### 5.1. Propulsión Azimutal [29,30].

Un propulsor azimutal consiste en una hélice que puede orientar su impulso girando alrededor de un eje vertical. Este giro es completo (360°) lo que mejora la maniobrabilidad haciendo incluso innecesario el timón. Parte de los mecanismos necesarios para el funcionamiento están encerrados en una góndola, delante o

detrás de la hélice. Es similar a la lanchas fueraborda pero con mayor posibilidad de giro y mayor tamaño.

Hay dos tipos de aplicación, los remolcadores por un lado y los buques offshore (sísmicos, de suministro a plataformas, stand-by,....).

En los remolcadores de tipo ASD (Azimuth Stern Drive), el uso del propulsor azimutal se hace al acoplar un motor diésel mediante una línea de ejes con dos ejes cardan, uno en cada extremo estando el propulsor y el motor están a distinta altura.

#### 5.1.1 Historia.

En la década de 1950 varios fabricantes de hélices intentaron soluciones que proporcionan una mejor maniobrabilidad y posibilidad de girar sobre el eje. La primera propulsión azimutal fue concebida en 1955 por F.W Pleuger y Busmann Friedrich (empresa Pleuger Unterwasserpumpen GmbH, Hamburgo - hoy Flowserve Hamburg GmbH) como el desarrollo de un timón activo. Se patentó (patente 2.714.866 de la Oficina de Patentes de Estados Unidos en agosto de 1955), sin embargo, estaba demasiado adelantado a su tiempo y no se llegó a construir.

Las empresas pioneras en el desarrollo de la propulsión azimutal fueron la alemana Schottel y la finlandesa Wärtsilä en navegación comercial y Volvo Penta en la navegación de recreo.

El propulsor azimutal utilizando la transmisión Z-drive fue inventado en 1950 por Joseph Becker fundador de Schottel en Alemania. Las primeras aplicaciones se produjeron en la década de 1960 bajo el nombre de la marca Schottel y se refiere como Propulsor Azimutal desde entonces. En 2004, Joseph Becker, recibió a título póstumo, el Premio Elmer A. Sperry por esta invención como una importante contribución a la mejora del transporte en todo el mundo. Pero por la misma época que Becker trabajaba en su invento, el astillero Hollming Oy en Rauma, Finlandia, fabricó un dispositivo que llamó Aqua Master. La empresa noruega

Ulstein As también estaba trabajando en esta cuestión. Entonces Hollming vendió su negocio de construcción naval, vendió los derechos de Aquamaster a Ulstein As, que a su vez se fusionó con la británica Rolls-Royce plc.

Más tarde, la filial de ABB, también con sede en Finlandia, desarrolló la hélice Azipod, con el motor situado en la misma góndola. Este es el tipo de propulsión se patentó por primera vez en 1955 por Pleuger de Alemania.

En todo el mundo hay alrededor de seis fabricantes de renombre. Estos incluyen a la sueco-suiza ABB con el Azipod ®,3 a la británica Rolls-Royce plc y su góndolas Mermaid®4 o el conglomerado alemán Siemens en cooperación con Spay sito en el astillero Koblenz Schottel, desde 1997, SSP (Propulsores Siemens Schottel) para desarrollar, producir y comercializar (esta unidad tiene una capacidad de hasta 20 megavatios, poniéndolo en la clase de rendimiento superior). Volvo Penta llama a sus sistemas Azipod IPS y Brunswick/Mercury lo llamó Cobra.

### 5.1.2 Hélice timón Schottel.

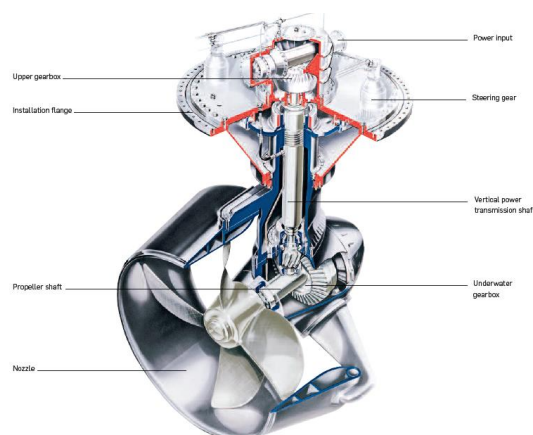


Figura 6.1.2.1. Hélice timón Schottel.

Fuente: Schottel.

La hélice timón Schottel es reconocida mundialmente como el sistema clásico de propulsión naval. Desarrollada y fabricada en el año 1950 por Josef Becker,

fundador del actual Grupo Schottel, conquistó pronto el mundo de la moderna construcción naval. El nombre de Schottel se ha convertido en un sinónimo para las hélices azimutales.

Hoy, con una potencia de hasta 6000 kW, es la solución superior de propulsión para una amplia gama de barcos.

Las características principales de la SRP se derivan de la combinación de propulsión y gobierno azimutal. Por lo tanto, no hay ninguna necesidad de un timón, y la potencia del motor se convierte en óptimo empuje. La rotación de 360 ° de la hélice timón significa que toda la potencia de entrada está disponible para maniobrar.

En los remolcadores de todas las clases, en la navegación interior o en el mar abierto, en aplicaciones en alta mar, bajo condiciones tropicales o árticas -, el SRP se puede encontrar en todas partes. Los ingenieros de Schottel desarrollan el concepto adecuado de propulsión para cada necesidad, ya sea para conducción diesel-eléctrica o diesel directa.

Las características principales de la SRP se derivan de la combinación de propulsión y gobierno azimutal. Por lo tanto, no hay ninguna necesidad de un timón, y la potencia del motor se convierte en óptimo empuje. La rotación de 360 ° de la hélice timón significa que toda la potencia de entrada está disponible para maniobrar.

Ventajas:

- Máxima maniobrabilidad
- Máxima eficacia
- Operación económica
- Instalación para ahorrar espacio
- Mantenimiento sencillo
- Alta fiabilidad

- Optimizada en términos de la cavitación y vibración
- Diseño fiable
- Hélice de paso variable o fija
- Conducción Z o L.



**45 T BP ASD TUG SMIT TUPI**  
2 x SCHOTTEL Rudderpropeller Type SRP 1012 FP (1378 kW each)



**ICE BREAKING MULTI-PURPOSE VESSEL TULPAR**  
2 x SCHOTTEL Rudderpropeller Type SRP 2020 PULL (2000 kW each)



**64 T BP ASD TUG FAIRPLAY X**  
2 x SCHOTTEL Rudderpropeller Type SRP 1515 FP (1865 kW each)



**ICEBREAKING EMERGENCY EVACUATION VESSEL IBEEV 02**  
2 x SCHOTTEL Rudderpropeller Type SRP 550 PULL (560 kW each)



**110 T BP ASD TUG CORRADO NERI**  
2 x SCHOTTEL Rudderpropeller Type SRP 3030 CP (3080 kW each)



**SEISMIC RESEARCH VESSEL W6 COLUMBUS**  
2 x SCHOTTEL Rudderpropeller Type SRP 3030 CP (3000 kW each)

Figura 6.1.2.2. Diferentes plataformas que montan propulsores azimutales.

Fuente: Schottel

## 5.2. Comparativa.

5.2.1 Comparación en función de la disposición de los propulsores bajo el casco del buque.

#### 5.2.1.1. Hélice azimutal.

Los propulsores azimutales giran horizontalmente sobre un eje vertical. El propulsor cuelga de un brazo en voladizo.

Técnicamente no es un concepto muy lógico ya que cuanto mayor es la potencia, mayor tiene que ser el diámetro de la hélice.

Debido a que con máximo empuje se produce el máximo momento flector, el sistema es más vulnerable frente a impactos.

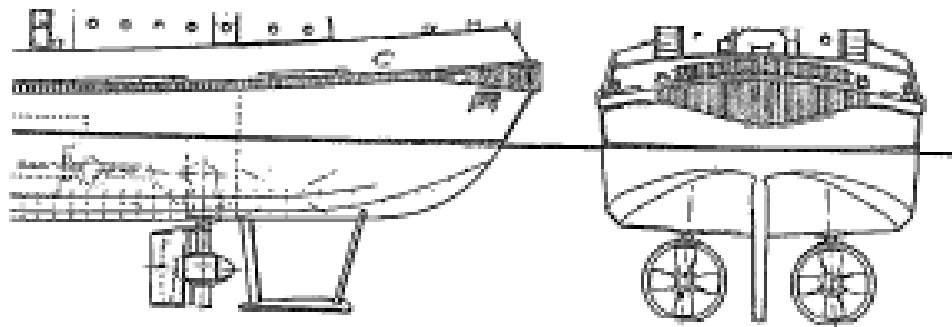


Figura 6.2.1.1.1: Imagen de hélice azimutal

Fuente: Voith Turbo

#### 5.2.1.2 Propulsión cicloidal.

Esta es una instalación típica de propulsores cicloidales.

El eje de rotación es vertical y el empuje se desarrolla en un ángulo recto con el eje de rotación.

Por tanto, sólo las palas que producen empuje sobresalen por la parte inferior del casco. Cuanto mayor sea la potencia más grande es el diámetro del rotor. Por lo tanto un concepto técnicamente más maduro.



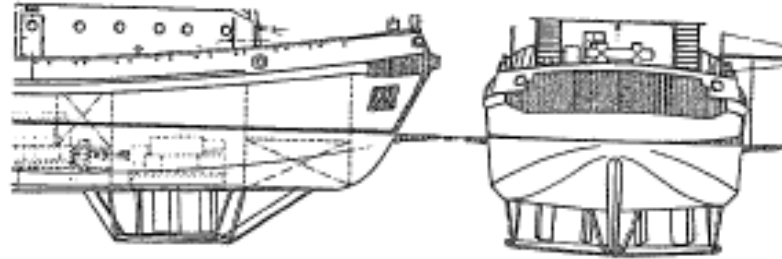


Figura 6.2.1.1.2: Imagen propulsor cicloidal.

Fuente: Voith Turbo

## 5.2.2 Comparación en función de la Protección del propulsor.

### 5.2.2.1 Hélice azimutal.

La varada o encallamiento es una amenaza latente, ya que la hélice sobresale del casco en un brazo de palanca largo.

Por lo tanto es esencial una protección.

Esto sin embargo no es técnicamente factible dado que cualquier estructura alrededor de las unidades giratorias sería un obstáculo para la estela de la hélice.

Por este motivo no se instalan dichas protecciones.

### 5.2.2.2 Propulsión cicloidal.

Una placa por debajo de los extremos de las palas actúa como la tobera de los propulsores cicloidales.

Está conectado al casco del buque por unos puntales que la fija sólidamente absorbiendo las fuerzas que puedan venir bien por varada/encallamiento o por contacto con otros buques.

Los puntales son diseñados hidrodinámicamente de modo que generan una mínima resistencia al flujo de agua.

Esta placa actúa asimismo como soporte cuando el buque está en dique.

### 5.2.3 Comparación en función del control del empuje en magnitud y dirección.

#### 5.2.3.1 Hélice azimutal.

La magnitud del empuje se controla como en una hélice de paso fijo, esto es, controlando la velocidad del motor. Por tanto, la cantidad de empuje sólo puede ser adoptada entre la velocidad de ralentí y las revoluciones nominales del motor.

No es posible dejar de producir empuje a no ser que se desembrague el propulsor o se pare el motor, lo cual dejaría al remolcador sin control.

La maniobra es un proceso donde intervienen muchas fuerzas y donde se requiere cambios de rpm frecuentemente lo que causa un gran desgaste en los motores y consecuentemente un alto consumo de combustible.

#### 5.2.3.2 Propulsión cicloidal.

El propulsor cicloidal es el propulsor ideal de paso controlable. La cantidad de empuje puede ser controlado bien con el paso de la hélice bien con la velocidad del motor.

La velocidad del motor puede ser prefijada en distintos rangos, mediante, por ejemplo, botones, dependiendo del requerimiento de empuje de modo que la cantidad de empuje se realice solo variando el paso.

El paso se puede reducirse a 0, eso significa que el empuje 0 está claramente definido. Es posible adaptar de una manera muy precisa el propulsor a una entrada de flujo positivo o negativo, por lo tanto, es un sistema de propulsión ideal cuando se opera en un flujo negativo para el frenado o el gobierno a Los puntales son diseñados hidrodinámicamente de modo que generan una mínima resistencia al flujo de agua.

### 5.2.4 Comparación en función de la utilización de la potencia.

#### 5.2.4.1 Hélice azimutal.

Si el paso está definido para la condición de tiro, la potencia no puede absorberse en condición de navegación libre.

Cuando se trabaja por popa del buque en un flujo negativo (comportamiento dinámico del buque) el paso de la hélice no se ajusta a esta condición y la hélice parará los motores. Por lo tanto esta hélice no es la adecuada para el gobierno dinámico del buque a velocidades superiores a 3 nudos para el frenado o gobierno del mismo.

#### 5.2.4.2 Propulsión cicloidal.

Los propulsores cicloidales son propulsores de paso controlable (CPP). Debido a las características de CPP- máxima potencia de potencia del motor se puede conseguir bien en navegación libre o bien en tiro a punto fijo.

Por consiguiente, el calado de los motores principales durante la operación en el flujo negativo se previene.

#### 5.2.5 Comparación en función del fallo de uno de los propulsores.

##### 5.2.5.1 Hélice azimutal.

La asistencia del buque con un tractor remolcador requiere el 100% de control de la orientación de las unidades en cualquier momento. Dado que el empuje lateral está desequilibrado en caso de fallo de una de las líneas de ejes, la operación con un Z-drive no es segura.

##### 5.2.5.2 Propulsión cicloidal.

Ambos propulsores operan simultáneamente como una sola unidad. De modo que si una línea de ejes fallara, la operación del buque no cambia fundamentalmente. El capitán no debe reorientarse, debe seguir concentrado en su labor y no en el sistema de gobierno.

5.2.6 Comparación en función de la transmisión del gobierno desde el puente a los propulsores.

#### 5.2.6.1 Hélice azimutal.

Debe ser eléctrica o electrónica debido a la complejidad del control en la combinación de revoluciones y giro. Depende de la alimentación eléctrica y es fuente de muchos fallos técnicos.

Consecuentemente no es fiable en la operación dinámica de asistencia a buques.

#### 5.2.6.2 Propulsión cicloidal.

Transmisión mecánica simple y robusta mediante barras.

Extremadamente fiable e independiente de cualquier fuente secundaria de potencia. A través de un diseño ingenieril orientado al usuario, el capitán tiene un contacto directo con los propulsores.

#### 5.2.7 Comparación en función del control (Remolcadores).

##### 5.2.7.1 Hélice azimutal.

Normalmente por medio de joysticks, por lo tanto no es posible un control eficiente simultáneo.

Dificultad para orientarse dado que el trabajo mirando a proa o popa requiere un control distinto.

##### 5.2.7.2 Propulsión cicloidal.

El volante controla el paso transversal y las palancas el paso longitudinal. De modo que el movimiento del buque es idéntico al movimiento del volante o palancas independientemente de la dirección de operación (human engineered control).

El capitán no tiene que reorientarse, puede concentrarse en su labor y no en el sistema de gobierno.

Esto es muy importante dado que en el manejo de buques el cambio de una dirección a otra (proa-popa o viceversa) se produce frecuentemente. Muy importante para el entrenamiento de la tripulación.

#### 5.2.8 Comparación en función del concepto mecánico.

##### 5.2.8.1 Hélice azimutal.

Propulsor de hélice a altas revoluciones.

El propulsor cuelga de un brazo con lo que se requieren dos engranajes de accionamiento y uno de giro

##### 5.2.8.2 Propulsión cicloidal.

Extremadamente bajas revoluciones, entre 4 y 5 veces menos que la hélice de un propulsor azimutal, lo que resultan en un propulsor extremadamente robusto.

Esto es porque las palas están montadas en un diámetro mayor. Las palas son las únicas partes que sobresalen del casco y son de acero inoxidable forjado.

#### 5.2.9. Comparación en función del concepto operacional.

##### 5.2.9.1. Hélice azimutal.

El empuje se adapta desde el T.P.F hasta navegación libre solo cambiando las revoluciones. En caso de que la hélice esté diseñada para tiro, en navegación libre no podrá absorber toda la potencia y viceversa En flujo negativo (frenando a popa del buque asistido), como las hélices no están diseñadas para esto, pueden calar los motores.

La velocidad operacional está limitada a 3 nudos. Esto no es suficiente para el manejo dinámico de un buque. Adaptabilidad debido a la característica de paso

controlable desde velocidad 0 a máxima velocidad y en flujo negativo para cualquier condición requerida en la asistencia dinámica de buques.

El modo indirecto de operación está restringido debido a la falta de redundancia dinámica.

#### 5.2.9.2. Propulsión cicloidal.

Adaptabilidad debido a la característica de paso controlable desde velocidad 0 a máxima velocidad y en flujo negativo para cualquier condición requerida en la asistencia dinámica de buques.

Aceptable operatividad en todo el rango de velocidades.

#### 5.2.10 Comparación en función de la disponibilidad.

##### 5.10.1. Hélice azimutal.

Debido a la alta velocidad y a que las unidades no están protegidas, éstas son muy vulnerables y existe un riesgo alto de tiempo de inactividad. Sería aconsejable disponer de un remolcador de respeto.

##### 5.2.10.2. Propulsión cicloidal.

Debido a un diseño robusto, unos requerimientos mínimos de mantenimiento y la redundancia mecánica tienen el mayor grado posible de disponibilidad. No se requiere disponer de un remolcador de respeto.

#### 5.2.11. Comparación en función del coste inicial.

##### 5.2.11.2 Hélice azimutal.

Precio bajo debido a los requerimientos de altas revoluciones y bajo par necesario.

##### 5.2.11.3. Propulsión cicloidal.

Más alto debido a que las revoluciones son entre 4 y 5 veces menores, es una maquinaria muy pesada y consecuentemente con un par mayor.

#### 5.2.12 Comparación en función del coste del ciclo de vida.

##### 5.12.1. Hélice azimutal.

Altas rpm implican unos intervalos de mantenimiento cortos y caros. Las altas rpm y la vulnerabilidad debido a su instalación por debajo del buque resultaran en un requerimiento de reemplazo de las unidades al menos una vez en la vida del remolcador.

Una experiencia similar ocurre con los motores de altas revoluciones dado que requerirán unos costes de mantenimiento significativamente mayores que los motores de media velocidad.

##### 5.2.12.2. Propulsión cicloidal.

Bajas rpm implican unos intervalos de mantenimiento más largos. El propulsor dura toda la vida del remolcador, tenemos experiencias de remolcadores con más de 55 años.

Un coste extremadamente bajo de mantenimiento compensara muy rápidamente la inversión inicial más alta.

## 6. MANIOBRAS CON UN VOITH WATER TRACTOR (VWT) [31,32].

Vamos a repasar las maniobras básicas de estos remolcadores a la vez que se comenta como se aplican en las maniobras de buques en el Arsenal Militar de Ferrol.

Como ya se ha comentado anteriormente el empuje de estos remolcadores se consigue a través de un sistema de coordenadas X-Y. El empuje transversal se consigue con el volante y el longitudinal con las palancas. Existe una interconexión entre el empuje longitudinal y el transversal. El paso transversal

siempre tiene prioridad. Voy a tratar de explicar este funcionamiento con dos ejemplos. Si tengo el 100% del empuje avante (palancas en paso 10) y sin tocar las palancas meto volante a ER, parte del empuje avante pasa para empuje transversal. Otro ejemplo, si vuelvo a estar con palanca 10 y meto todo el volante a ER todo el empuje pasa al volante y desaparece el empuje longitudinal.

Una forma sencilla de explicar el efecto del volante y las palancas sobre el remolcador es que si queremos mover la proa a Br o Er accionamos el volante y si queremos girar la popa a Br o ER ciavogamos con las palancas.

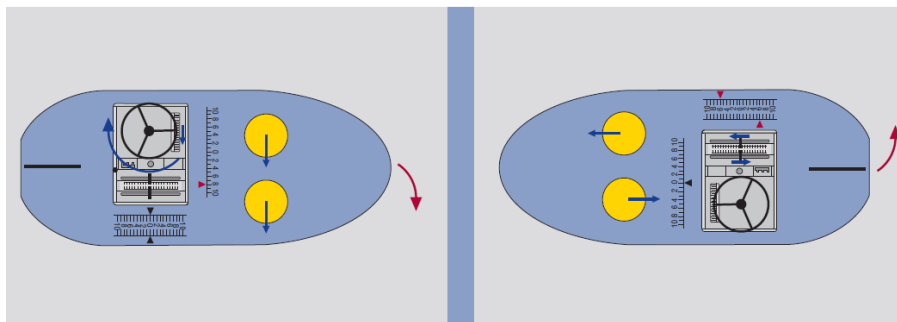


Figura 6.1. Efecto de las palancas y el volante sobre la proa y la popa del remolcador.

Fuente: Voith Turbo

Si combinamos el efecto del volante haciendo caer la proa a ER con el de las palancas haciendo caer la popa también a Er podemos hacer que el remolcador se desplace de costado. Por tanto es posible que el remolcador se desplace en cualquier dirección.

## 6.1 Parada de emergencia.

Los VSP permiten realizar una emergencia de forma muy rápida. Existen dos formas posibles:

### 6.1.1 Estándar.

Si llevamos palanca avante simplemente tendremos que invertir la palanca atrás. Se lleva la palanca atrás hasta paso 6 (sobre 10) y si es necesario se puede



incrementar a partir de ahí el paso suavemente. Se consigue parar el remolcador en una distancia de una eslora.

### 6.1.2 Mejorada

Se lleva las palancas a cero y se hace una caída brusca a una banda metiendo todo el volante a esa banda, el remolcador se detendrá formando un ángulo de  $90^\circ$  respecto a su rumbo inicial. Se consigue para el remolcador a una distancia igual a media eslora.

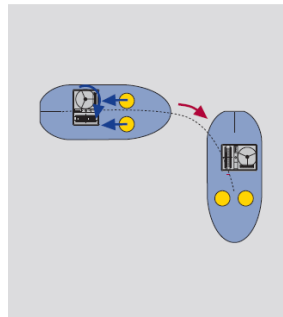


Figura 6.1.2.1: Parada de emergencia mejorada.

Fuente: Voith Turbo

## 6.2 Maniobra de desatraque.

Vamos a considerar dos supuestos, desatraque con espacio libre por proa y popa y en espacios confinados.

### 6.2.1. Con espacio libre.

Se abre la proa actuando sobre el volante y cuando está lo suficientemente separada del muelle se reduce volante y se da avante actuando sobre las palancas.

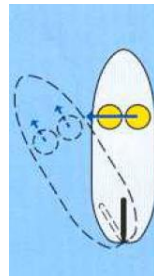


Figura 6.2.1.1 : Maniobra de desatraque de un VWT

Fuente: Voith Turbo

### 6.2.2. En espacio confinado.

Debemos jugar conjuntamente con palancas y volante. Dando avante con la palanca de paso exterior y atrás con la interior separamos la popa del muelle. Con el volante separamos la proa del muelle con una fuerza tal que iguale el empuje de la popa. De esta forma desatracamos el remolcador con un movimiento transversal.

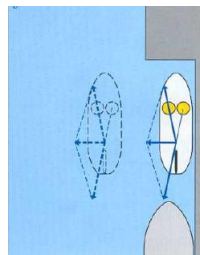


Figura 6.2.2.1 : Maniobra de desatraque de un VWT

Fuente: Voith Turbo

### 6.3 Maniobra de atraque de costado.

Al igual que la maniobra de desatraque contemplamos el atraque en muelle libre y en espacio confinado.

#### 6.3.1 En espacio libre.

Empezando en la posición 1 se gira el volante a babor y la proa se aparta del muelle antes de tocarlo. El tractor deberá atracar de costado a mayor velocidad que un barco de propulsión a popa. Si se realiza la maniobra con velocidad

insuficiente la separación de la proa puede reducir el movimiento marcha avante excesivamente y de este modo impedir que el tractor alcance el muelle.

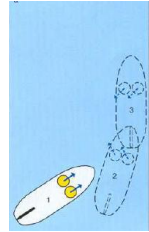


Figura 6.3.1.1: VWT atracando de costado.

Fuente: Voith Turbo

### 6.3.2 Atrache en espacio confinado.

El propulsor cercano al muelle se pone marcha avante, el propulsor exterior atrás y el volante se gira hacia muelle hasta que el buque se mueva transversalmente.

Debido al efecto tobera de la defensa de los propulsores, el empuje del propulsor que trabaja atrás es algo menor que el que trabaja en marcha avante por lo que el paso de este último deberá de ser algo menor.

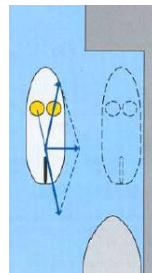


Figura 6.3.2.1: VWT atracando de costado.

Fuente: Voith Turbo

## 6.4 Forma de dar remolque a proa.

### 6.4.1 Remolque por alavante de proa.

Esta es una maniobra común. El remolcador Ibaizabal Cinco del puerto de Ferrol da el cabo del chigre, en el Arsenal Militar de Ferrol se da un cabo de remolque hecho firme al gancho de remolque.

La aproximación al buque con el Tractor se realiza marcha avante (de proa). El remolcador se aproxima al buque por el costado y tras comprobar que puede mantener la velocidad del buque con palanca en paso 7 inicia la aproximación.

Se coloca la popa debajo de la guía por la que se va a dar el remolque, se da la maniobra y a continuación se coloca por la proa del buque preparado para trabajar.

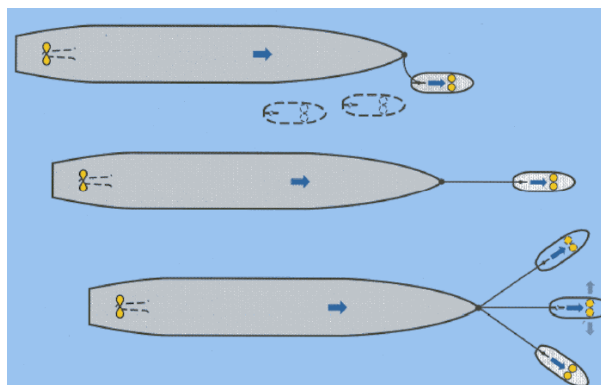


Figura 6.4.1.1: Aproximación para dar cabo remolque por la proa

Fuente: Voith Turbo



Figura 6.4.1.2: Toma de remolque por la proa de una F-100

Fuente: Propia

#### 6.4.2. Cambio de posición para empujar o tirar en la amura.

Esta es una de maniobras más utilizadas y es posible gracias a la alta maniobrabilidad de los VWT. La maniobra de remolque se realiza de forma similar

a la explicada en el punto anterior. La variación está en que al estar cerca del muelle de atraque el remolcador cambia de posición para empujar/tirar del buque hasta que este queda atracado.

Los remolcadores que dan el cabo de remolque desde el chigre simplemente cambian de posición, la longitud del remolque se corrige con el chigre. Los remolcadores del Arsenal Militar de Ferrol, que dan estacha de remolque desde el gancho, una vez en la amura del buque remolcado dan otro cabo desde el chigre de remolque.

Esta maniobra de cambio de posición se debe hacer con el buque remolcado a una velocidad inferior a 2 nudos, a más velocidad se corre el riesgo de que el remolcador sea arrastrado durante el cambio de posición.

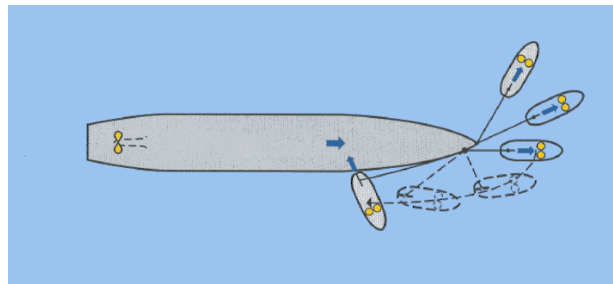


Figura 6.4.2.1: Cambio de posición del remolcador para tirar o empujar.

Fuente: Voith Turbo



Figura 6.4.2.2: Remolcador Y-126 empujando en la amura y detalle del punto de afirmado

Fuente: Propia.

## 6.5 Forma de dar remolque a popa.

La aproximación al buque se realiza por popa presentando el quillote a la estela del buque.

a) Selección de la gatera.

b) Deberá tomar precaución con la estela de popa y mantener el tractor

a la vía del barco. Para ello, usar una combinación de palancas y volante. Mantener las dos manos sobre las palancas de paso y utilizar el volante cuando sea necesario.

c) Situar la popa del remolcador a la altura de la popa del barco y mantener la posición, tomando el cabo de remolque y trincándolo. (No se permitirá que la popa del tractor adelante el espejo de popa).

d) Navegar de popa tensando ligeramente el cabo. Gobernar con el volante evitando movimientos bruscos.

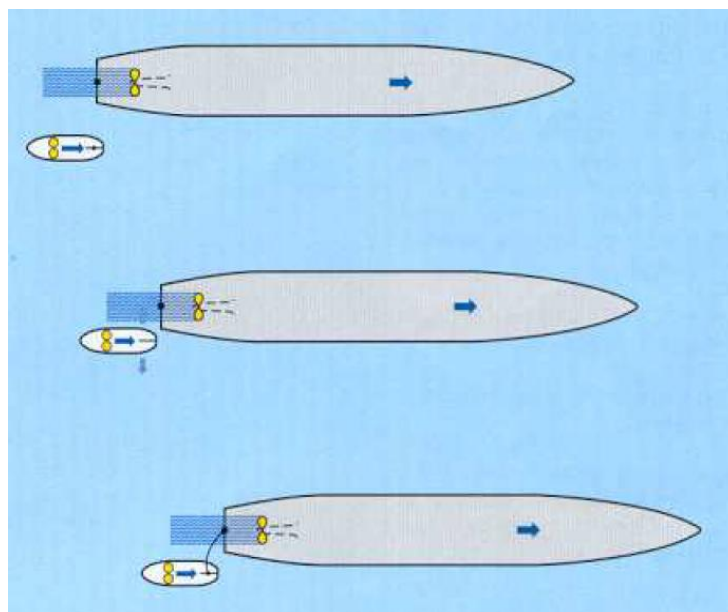


Figura 6.5.1: Forma de dar el remolque por la popa.

Fuente: Voith Turbo

## 6.6 Remolcador escoltando.

### 6.6.1 Ayuda al gobierno.

En esta maniobra el remolcador actúa como un gobierno auxiliar del buque. Si el buque remolcado navega a menos de tres nudos se utiliza el método directo, si navega a más de tres nudos se utiliza el método indirecto.

#### 6.6.1.1 Método directo.

El remolcador se coloca por la aleta de Br o Er, dependiendo donde queramos llevar la popa y tira.

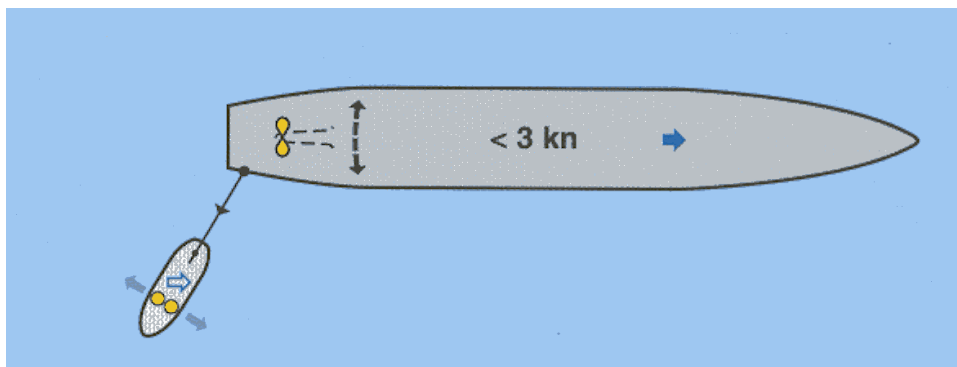


Figura 6.6.1.1.1: Remolcador tirando en método directo.

Fuente: Voith Turbo.

#### 6.6.1.2 Método indirecto.

Se desplaza la popa del remolcador usando las palancas de paso y el volante. Si la línea de remolque no viene libre desde el arco de remolque sino que se apoya en el Panamá en la amura de popa es necesaria una mayor potencia para posicionarse (ya que el eje vertical de giro del Tractor pasa por el arco de remolque). Si en cualquier instante el momento de escora es demasiado grande ha de girarse el tractor en línea con el cable de remolque.

A una velocidad del barco de 9 nudos la tracción puede doblar el tiro a punto fijo.

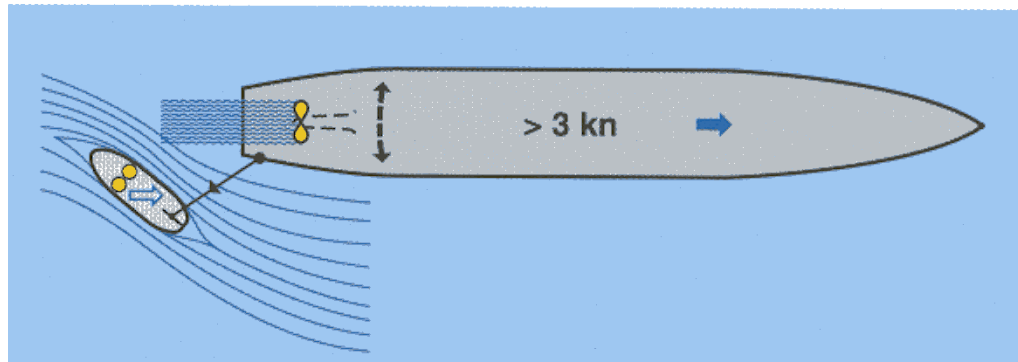


Figura 6.6.1.2.1: Remolcador en tiro indirecto.

Fuente: Voith Turbo

### 6.6.2 Frenando del buque remolcado.

Cuando se solicita ayuda para el frenado del barco asistido se mantendrá el Tractor a la vía detrás del barco, usando las palancas de paso y lo mínimo el volante. Las palancas de paso se ajustan según la velocidad del buque para evitar una sobrecarga del motor.

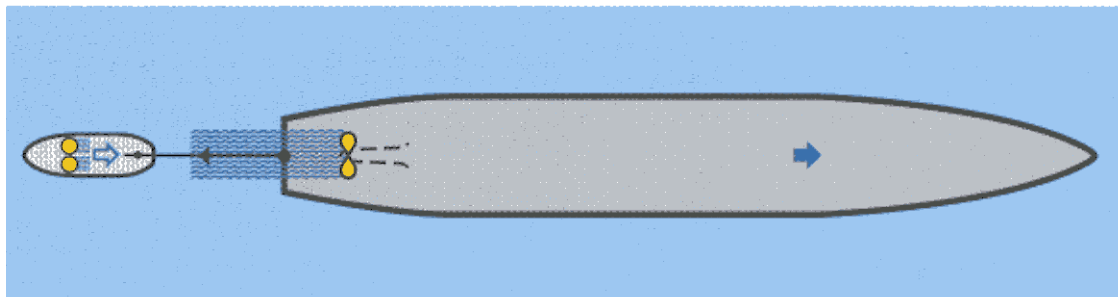


Figura 6.6.2.1: Remolcador asistiendo al frenado del buque.

Fuente: Voith Turbo

### 6.6.3 Firme a popa con cambio de posición para empujar/tirar.

Esta maniobra es similar a la explicada en el punto 7.3.2. pero en la popa. El remolcador de popa una vez cerca del muelle cambia de posición para empujar tirar a la vez que acorta o alarga el cabo de remolque que se ha dado desde el chigre.



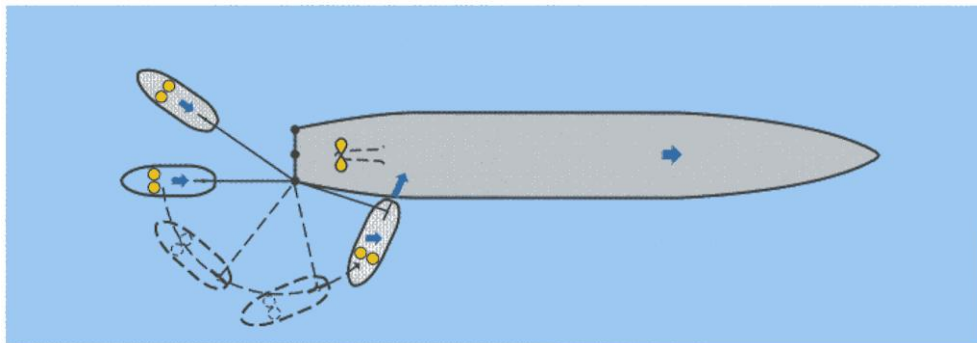


Figura 6.6.3.1: Cambio de posición del remolque de popa.

Fuente: Voith Turbo.

En el Arsenal Militar de Ferrol no solemos utilizar esta maniobra, hacemos firme con cabo del chigre en el punto indicado para empujar o tirar. Con esta forma de trabajar se pierde parte de la capacidad de asistencia en el frenado del buque remolcado y de su gobierno pero es algo impuesto por los finos de popa de los buques a los que asistimos.

## 6.7 Push and Pull.

6.7.1 Remolcador acodado a proa, a lo largo de la amura, para empujar con la popa.

Esta es una maniobra que cada vez utilizamos más debido a que desaparece el riesgo de romper el cabo de remolque con salientes del buque cuando el remolcador cambia de posición desde la proa hasta la posición de empujar.

Primero se decide la posición de amarre (precaución con las formas del casco y con las inclinaciones de los costados en la línea de flotación).

Se debe controlar de la velocidad del barco (menor de 5 nudos).

Mantenerse paralelo al barco. Usando las palancas de paso y el volante (no más de paso 2 en el volante). Hacer la aproximación final.

Disponer ambas manos sobre las palancas de paso y, si fuese necesario usar el volante con una mano, para favorecer el efecto de tornillo.

Una vez que la popa ha tomado contacto, meter volante para mantener la popa apoyada, hacer firme y esperar las órdenes del Práctico.

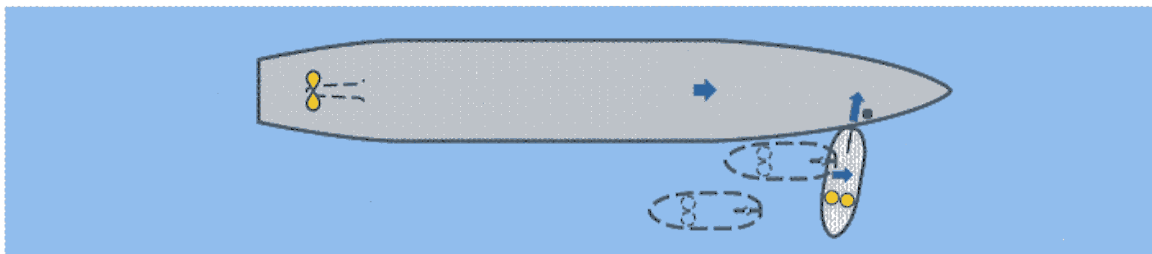


Figura 6.7.1.1: Remolcador acodado en la amura.

Fuente: Voith Turbo.

### 6.7.2 Acodado en la aleta para empujar.

Esta es la forma habitual de trabajo del remolcador de popa en el Arsenal Militar de Ferrol.

- a) Se puede situar el Tractor navegando marcha avante o
- b) Navegando de popa

Decidir la posición de apoyo (precaución con las formas y la zona de balances). Al acercarse se debe tener cuidado de que debido a la inercia de la popa (si el buque remolcado está cayendo) esta no golpee al remolcador.

Se apoya el Tractor, el Panamá, arco de remolque o el gancho debe estar frente al punto de amarre seleccionado.

Hacer firme. La longitud de la línea de remolque estará determinada por la posición de empuje, con la línea de remolque usada como retenida.

No acercarse mucho al propulsor del buque ni situarse cerca de donde las formas del buque dispongan de mucho abanico.

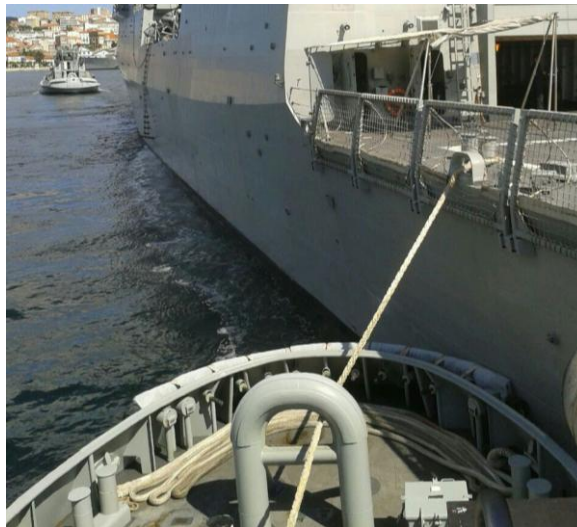


Figura 6.7.2.1: Remolcador firme para asistir por la popa a una F-100.

Fuente: propia.

### **6.8 Amarrado al costado con retenidas.**

Esta es una forma de trabajo muy útil cuando se quiere maniobrar con un buque sin propulsión.

Se toma remolque a proa, por largo o con retenida.

El remolcador de popa se hace firme a lo largo de la aleta del buque a remolcar con los propulsores sobresaliendo por la popa del buque remolcado para que el casco de este no afecte a la corriente de expulsión de los propulsores del remolcador.

El remolcador de popa se utiliza para llevar la popa a Br o Er y para generar empuje avante o atrás. El movimiento de la popa se realiza actuando sobre el volante y el empuje avante/atrás con las palancas.

Si el buque o la gabarra a remolcar es pequeño se puede obviar el remolcador en la proa.

Solamente se puede utilizar este modo de asistencia cuando hay buenas condiciones meteorológicas.

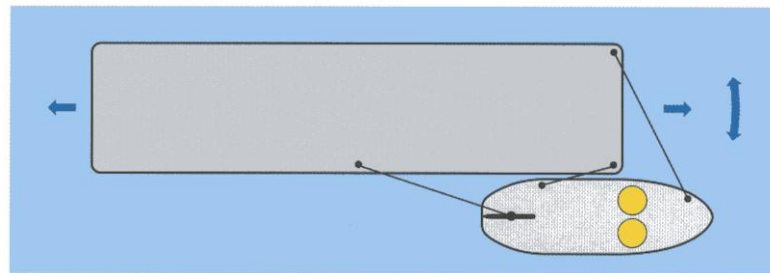


Figura 6.8.1: Forma de amarrar al remolcador con retenidas.

Fuente: Voith Turbo

Las siguientes figuras corresponden a una maniobra con la Fragata Méndez Núñez con el remolcador Y-122 amarrado con retenidas. El buque estaba atracado por la banda de Br y el remolcador, al ser un cambio de amarre por la banda de Er, tuvo que abrir la fragata del muelle amarrado por el espejo, antes de poder ocupar su posición en la aleta de Br.



Figura 6.8.2: Detalle del afirmado del remolcador.

Fuente: Propia



Figura 6.8.3: Remolcador preparado para abrir la popa.

Fuente: propia.



Figura 6.8.4: Y-122 ocupando su posición de remolque.

Fuente: Propia.



Figura 6.8.5: Y-122 comenzando a trabajar.

Fuente: Propia.

## 7. CONCLUSIONES.

- Basado en mi experiencia profesional, tres años como práctico en el Arsenal Militar de Ferrol, y tras contrastar esta opinión con otros prácticos civiles y militares, opino que la propulsión Voith Schneider es muy superior a los otros tipos de propulsión que se emplean en remolcadores. A continuación voy a explicar el porqué de esta certeza:
  - Con los VSP puedo generar empuje en cualquier dirección de forma instantánea. El único sistema que se le aproxima es el azimutal pero en este debo girar la posición de las hélices, esto lleva más tiempo y



- además, hasta alcanzar la posición deseada debo parar el giro de las hélices para no generar empujes en direcciones no deseadas.
- En un sistema tremendamente robusto. Durante maniobras los remolcadores Y-122 y Y-126 han enganchado en las palas de los propulsores todo tipo de aparejos, redes, cabos, cables... sin que nunca se hayan producido averías.
  - El remolcador Y-122 entró en servicio en 1.999 y este año se va a hacer por primera vez una revisión de sus VSP.
  - Con el debido adiestramiento, las posibilidades operacionales de los VWT son enormes.
  - Su sistema mecánico de control hace que sean muy fiables.
  - En caso de caída de uno de los propulsores se puede maniobrar de la misma manera, únicamente se ve afectado en la potencia.
  - Debido a sistema de propulsión la forma de gobernarlo es igual con marcha avante que con marcha atrás, únicamente debe cambiar de posición el patrón en el pupitre de gobierno.
  - Ofrece la posibilidad de tiro indirecto y de trabajar a la vez como remolcador y como máquina del buque asistido.
- Probablemente la mayor limitación de los VSP esté en su potencia máxima, 3.900 kW, esto hace que los grandes buques no los puedan utilizar como propulsión principal.
  - Voith continúa investigando y basados en la tecnología VSP ha desarrollado nuevos productos con el Voith Cycloidal Rudder y el sistema antibalance. Estos nuevos desarrollos están ampliando el campo de aplicación de los VSP que ha dado el salto de los remolcadores a los buques off shore donde se está abriendo mercado. Los demás sistemas de propulsión no tienen otras aplicaciones.
  - El sistema antibalance ha demostrado ser superior a las demás tecnologías existentes hasta el momento, con la ventaja que en los buques dotados de VSP como propulsión principal, simplemente hay que instalar un control electrónico que compagine la propulsión con el control del balance.

- Sin lugar a dudas el mayor inconveniente de todos estos sistemas sea su precio. Son poco competitivos si los comparamos con los sistemas azimutales. A pesar de que a largo plazo el bajo mantenimiento igualaría los costes a corto plazo la inversión muy superior y la mayoría de los armadores buscan rentabilidad a corto plazo.
- Al ser Voith Schneider la única compañía que fabrica propulsores cicloidales estos son mucho menos conocidos que los azimutales que son fabricados por diferentes marcas.

## 8. REFERENCIAS.

- [1] “The fascination of the Voith Schneider propeller. History and engineering”. Birgit Jürgens, Werner Fork. Koehler 2.002.
- [2] Conferencia “Ship-Handling in the new Panama Canal”. Voith Turbo. Enero 2.014.
- [3] Paper to the International Symposium Warship 2.001. “Future Surface warships”. The Royal Institution of Naval Architects. Junio 2.001. Autores: Dr. Ing. Dirk Jürgens, Dipl. Ing. Torsten Moltrech.
- [4] VOITH TURBO MARINE GmbH Co.KG. “Voith Schneider propeller designer manual”.
- [5] VOITH TURBO MARINE GmbH Co.KG. “Voith Schneider propeller”.
- [6] <http://propulsionvoithschneider.blogspot.com.es>. AGO 14
- [7] www.aracuan.com.ar. JUL 2014.
- [8] iVSP Interactive Voith Schneider Propeller.
- [9] “Tractores Voith. Sinónimo de seguridad”. Publicación n 2894 sp. Voith.
- [10] Trabajo de Fin de Master Hakon Skatws. “Control de motores marinos”. Universidad de Noruega de Ciencia y Tecnología, Departamento de Tecnología Marina.
- [11] Conferencia “VTSH Control”. 28 mayo 2013.
- [12] “Remolcador Voith Water Tractor”. Voith Turbo Schneider Propulsion.
- [13] VOITH TURBO MARINE GmbH Co.KG. “Tractor type tugs-correct propulsion 08-11-2013”.



- [14] “Remolque Portuario”. JUAN M. GONZÁLEZ MARTÍNEZ Capitán de la Marina Mercante Presidente de Boluda Towage & Salvage. Extraído de Revista Prácticos de puerto (España) Junio 2012 – Año XVI – Número 70.
- [15] “Curso de ambientación buques clase Segura”. Armada Española.
- [16] “Flotating cranes with VSP”. Voith Hydro GmbH, Marine Technology.
- [17] VOITH TURBO MARINE GmbH Co.KG. “Offshore support vessel equipped with Voith Schneider propellers”.
- [18] “Case of study. M/V Forte”. Voith Turbo.
- [19] “Excellent solutions for wind farm offshore vessels. Installation and support.”
- [20] “Offshore construction vessel North Sea Giant”. Voith Turbo.
- [21] <http://voith.com/en/products-services/power-transmission/applications/ferries-and-passenger-ships-13958.html>. Agosto 2014.
- [22] DIRK JÜRGENS, MICHAEL PALM. “Dinamic positioning conference Octubre 2009”.
- [23] Curso sobre consolas CPG de los dragaminas clase segura. Escuela de Especialidades Antonio de Escaño.
- [24] “The Voith Schneider Propeller. Current applications and new developments. Dr. Ing. Jens-Erk Bartels. Dr. Ing. Dirk Jurgens.
- VOITH TURBO MARINE GmbH Co.KG. “Voith Schneider propeller-current applications and new developments”.
- [25] “Voith Cycloidal Rudder. New propulsion and maneuvering system for ships”.Vs3225e. Voith Schiffstechnik.

- [26] VOITH TURBO MARINE GmbH Co.KG. “Active roll damping with Voith Schneider Propulsion”
- [27] Paper to 18th International HISWA Symposium on yacht desing and yacht construction. Noviembre 2004. “Cycloidal Propulsion. The quiet maneouvering propulsion for large motor yatchs. Dr. Dirk Jürgens, Dr. Torsten Moltrech, Dr Marcel Flipse.
- [28]ROBERT ALLAN. Conferencia “RAVE TUG”.
- [29] HENK HENSEN “Tug use in port”, Editorial The Nautical Institute, 2003.
- [30] RAFAEL CABAL ALVAREZ “Remolcadores de Puerto SMD en el Puerto de Barcelona”
- [31] VOITH TURBO MARINE GmbH Co.KG. “Precise and safe maneouvering“.
- [32] “Voith Water Tractor Maneuver Manual”. Captain Yves Chevalier, Olaf Radike Naval Architec. Voith Turbo Schneider.