

REMOLCADOR DE PUERTO Y DE ALTURA. PROPULSIÓN DUAL.
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE A CORUÑA

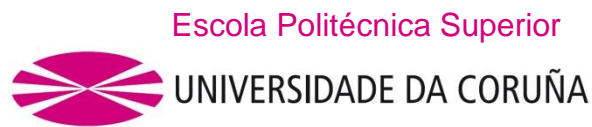


PROYECTO FIN DE GRADO 2015/2016. NÚMERO 16-11 P
GRADO EN INGENIERÍA DE PROPULSIÓN Y SERVICIOS DEL
BUQUE



CUADERNO 6: PREDICCIÓN DE POTENCIA Y DISEÑO DE
PROPULSORES

ALUMNO: DAVID DOPICO SAAVEDRA
TUTOR: RAÚL VILLA CARO



DEPARTAMENTO DE ENXEÑERÍA NAVAL E OCEÁNICA

GRADO EN INGENIERÍA DE PROPULSIÓN Y SERVICIOS DEL BUQUE

CURSO 2.015-2016

PROYECTO NÚMERO 16-11 P

TIPO DE BUQUE: BUQUE REMOLCADOR DE PUERTO Y DE ALTURA. PROPULSION DUAL

CLASIFICACION, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACION: LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING, Solas, Marpol y reglamentación estándar.

CARACTERISTICAS DEL BUQUE: Buque remolcador de altura y salvamento. 85 t. de tracción a punto fijo.

VELOCIDAD Y AUTONOMIA: 12,5 nudos a máxima velocidad alcanzable y autonomía de 3.000 millas a la velocidad de servicio.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Maquinillas de remolque y los específicos y normales en este tipo de buque.

PROPULSION: Diesel Dual MDO/LNG.

TRIPULACION Y PASAJE: 8 Personas.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Equipos para extinción de incendios, salvamento y lucha contra la contaminación.

ALUMNO: David Dopico Saavedra

13 de Marzo de 2016

Índice

1. Introducción	3
2. Cálculo de la potencia a partir de la resistencia al avance.....	4
3. Cálculo de potencia a partir de TPF.....	11
4. Cálculo de la potencia demandada por las bombas del sistema FiFi I contraincendios.....	13
5. Elección de la planta propulsora del buque.	14
5.1 Elección del motor.....	14
5.2 Elección del propulsor.....	16
5.3 Hélice de proa.....	25
5.4 Línea de ejes	27
ANEXO I: Croquis de la posición de los propulsores.	30
ANEXO II: Características de los propulsores.	31
ANEXO III: Características de la hélice de proa.....	32

1. Introducción

En este cuaderno buscaremos definir la planta propulsora de nuestro barco, calculando así el motor y el propulsor más adecuado, y comprobando que cumplirá con las exigencias de nuestro barco.

La selección de la maquinaria propulsora está estrechamente relacionada con el proyecto de las formas del buque, por ello será necesario estimar la resistencia al avance, el número y características necesarias del propulsor, así como estudiar la interacción propulsor-carena para poder seleccionar la instalación propulsora.

Los cálculos de resistencia al avance se realizan en aguas tranquilas, teniendo en cuenta los distintos estados de la mar mediante un incremento porcentual de las necesidades de potencia.

Para nuestro buque, un remolcador, utilizaremos propulsión azimutal para propulsar y gobernar el buque, con propulsores suministrados por la casa Schottel y transmitiéndose la potencia gracias a dos líneas de ejes. La propulsión va situada a popa y la guía de remolque en la cubierta principal. La propulsión azimutal es un tipo de propulsión controlable, en el que el motor puede trabajar a revoluciones constantes y tanto la magnitud como la dirección del empuje son reguladas el propulsor.

Para el cálculo de la potencia hay que hacerlo en función del tiro a punto fijo exigido de 85 t por ser esta la situación que demanda más potencia.

Los cálculos de resistencia al avance y de predicción de potencia en aguas libres se han realizado por el método de G. Van Oortmerssen, por ser este el idóneo para las características del buque proyecto y se ha utilizado el software Navcad para llevarlo a cabo.

Una vez con la predicción de potencia realizada, la utilizamos para escoger el motor propulsor necesario, teniendo especialmente en cuenta que la RPA exige que estos sean de tipo Dual MDO/LNG. Seleccionaremos el propulsor más adecuado en base también a estos cálculos.

2. Cálculo de la potencia a partir de la resistencia al avance.

Al proyectar un remolcador, generalmente la potencia no se estima en base a la resistencia al avance, sino que es el tiro a punto fijo lo que determina la potencia que necesitará el buque. Sin embargo realizaremos de todas formas la predicción de la resistencia al avance que debe superar el remolcador calculando así la potencia en los diferentes rangos de velocidades.

Podemos encontrar diferentes métodos para predecir la resistencia al avance, dependiendo principalmente de las características del buque el uso de uno u otro. En la siguiente tabla podemos observar algunos de los más conocidos y usados junto con las limitaciones para obtener resultados veraces.

Método	Campo de aplicación	Tipo de buques	Coef.
G. Van Oortmersen	$F_n < 0,50$	Pequeños	Sí
	$0,50 < C_p < 0,73$		
	$0,7 < C_m < 0,97$		
	$1,9 < B/T < 4,0$		
	$8,0 < L_{pp} < 80,0$		
	$3,0 L_{pp}/B < 6,2$		
Holtrop & Mennen	$F_n < 0,45$	Mercantes	Sí
	$0,55 < C_p < 0,85$		
	$3,9 < L_{pp}/B < 9,5$		
Kafali	$0,35 < F_n < 0,85$	Pequeños y con formas redondeadas	No
	$3,65 < B/T < 4,45$		
	$5,84 < L_{pp}/DISV^{1/3} < 8,0$		
Mercier & Savitsky	$5,84 < L_{pp}/DISV^{1/3} < 8,0$	Rápidos y con formas redondeadas	No
	$1,2 < F_n < 2,6$		
	$2,21 < DISV^{1/3} < 44,2$		
Sin Ping-Zhong	$0,35 < F_n < 0,85$	Pequeños y con formas redondeadas	No
	$0,573 < C_p < 0,764$		
	$1,5 < DISV/(0,1 \cdot L_{pp})^{1/3} < 11,00$		
	$-4 < X_b < 0$		

Uno de los métodos más usados es el Holtrop, utilizado para distintos tipos de buques mercantes, pero en nuestro caso no obtendríamos unos resultados ajustados a la realidad debido a que está pensado para buques con esloras muy superiores a los 35,6 metros de nuestro remolcador y con unas formas también diferentes en gran medida.

Observando los demás métodos, encontramos que el que más se ajusta a las características de nuestro buque es el método de G. Van Oortmerssen, que se basa en el análisis de datos en materia de propulsión que se efectuó a una muestra de 93 modelos de buques tipo remolcador y traineras. Este método se basa en los datos del Canal de Wageningen, que incluye una estimación de coeficientes propulsivos y se aplica a buques pequeños.

El método de G. Van Oortmerssen se basa en la hipótesis de Hughes por la cual se considera que la resistencia total de avance es la suma de dos resistencias independientes entre sí, que son la resistencia viscosa y la resistencia por formación de olas.

Nos aseguramos que nuestro buque cumple los requisitos para la utilización de este método:

Método	Campo de aplicación	Remolcador	Cumple
G. Van Oortmerssen	$F_n < 0,50$	0,367	Sí
	$0,50 < C_p < 0,73$	0,551	Sí
	$0,7 < C_m < 0,97$	0,943	Sí
	$1,9 < B/T < 4,0$	2,712	Sí
	$8,0 < L_{pp} < 80,0$	31,5	Sí
	$3,0 L_{pp}/B < 6,2$	2,471	No

Podemos observar que cumple todos los requerimientos excepto el último, la relación entre eslora entre perpendiculares y la manga. Esto podríamos justificarlo debido a las exigencias de un mayor volumen de carena debido al gran empacho de los tanques de almacenamiento de LNG, que nos llevan a aumentar las dimensiones con respecto a buques de similares condiciones.

A pesar de esto emplearemos este método al tratarse del más idóneo. Para esto nos ayudaremos de software Navcad, que nos dará un valor de resistencia al avance y una

predicción de potencia para cada rango de velocidades, a partir de los datos que facilitemos de nuestro buque, que serán los siguientes:

- **Condición**

En primer lugar se introducen los datos de principales del buque, la línea de fricción a utilizar, las propiedades del agua y las velocidades:

Project ID:	Remolcador 85 TPF	
Description:		
Summary		
Scope:	ITTC-78 (CT)	▼
Configuration:	Monohull	▼
Chine type:	Single/hard	▼
Length on WL:	34,80	m
Displacement:	1108,94	t
Propulsor type:	SPP	▼
Count:	2	▼
Water properties		
Water type:	Salt	▼
Density:	1,9908	slug/ft ³
Viscosity:	1,27980e-5	ft ² /s
Speeds		
Speed [01]	0,50	kt
Speed [02]	2,00	kt
Speed [03]	4,00	kt
Speed [04]	6,00	kt
Speed [05]	8,00	kt
Speed [06]	10,00	kt
Speed [07]	11,00	kt
Speed [08]	12,00	kt
Speed [09]	12,50	kt
Speed [10]		kt
Design condition		
Design speed:	12,50	▼ kt

- **Casco**

Se añaden los datos del casco. Las dimensiones principales introducidas son las resultantes del cálculo de la cifra de mérito.

La superficie mojada la calculamos a partir de la fórmula Mumford:

$$S = L \cdot B \cdot (1,22 \cdot T/B + 0,46) \cdot (CB + 0,765) = 530,61 \text{ m}^2$$

Para los valores de los parámetros de la ITTC-78, introducimos los coeficientes de la maestra y el de flotación, para obtener el área de la maestra y el área de flotación. Los demás valores son aproximaciones realizadas con el programa utilizando los métodos que más se aproximan: situando el centro de carena en un 4% después de la mitad de la eslora de flotación, y obteniendo el ángulo medio de entrada mediante Holtrop.

Hull		
Configuration:	Monohull	▼
Chine type:	Single/hard	▼
General		
Length on WL:	34,800	m
Max beam on WL:	12,750	m
Max molded draft:	4,700	m
Displacement:	1108,94	t
Wetted surface:	530,6	m ²
Demi-hull spacing:		m
ITTC-78 (CT)		
LCB fwd TR:	16,008	m
LCF fwd TR:	20,010	m
Max section area:	56,5	m ²
Waterplane area:	307,5	m ²
Bulb section area:	0,0	m ²
Bulb ctr below WL:	0,000	m
Bulb nose fwd TR:	0,000	m
Imm transom area:	0,0	m ²
Transom beam WL:	0,000	m
Transom immersion:	0,000	m
Half entrance angle:	27,62	deg
Bow shape factor:	0,0	[AVG flow]
Stern shape factor:	0,0	[AVG flow]

- Apéndices

Para el efecto de los apéndices aplicaremos en el cálculo un porcentaje del 5%, donde se incluiría todos los componentes que los forman.

- Cargas ambientales

No se aplicarán cargas ambientales ya que se tendrán en cuenta con el 15% de margen de mar indicado en los requerimientos del proyecto.

- Margen de mar

Se aplica un margen de diseño para tener en cuenta las cargas ambientales.

- Cálculo

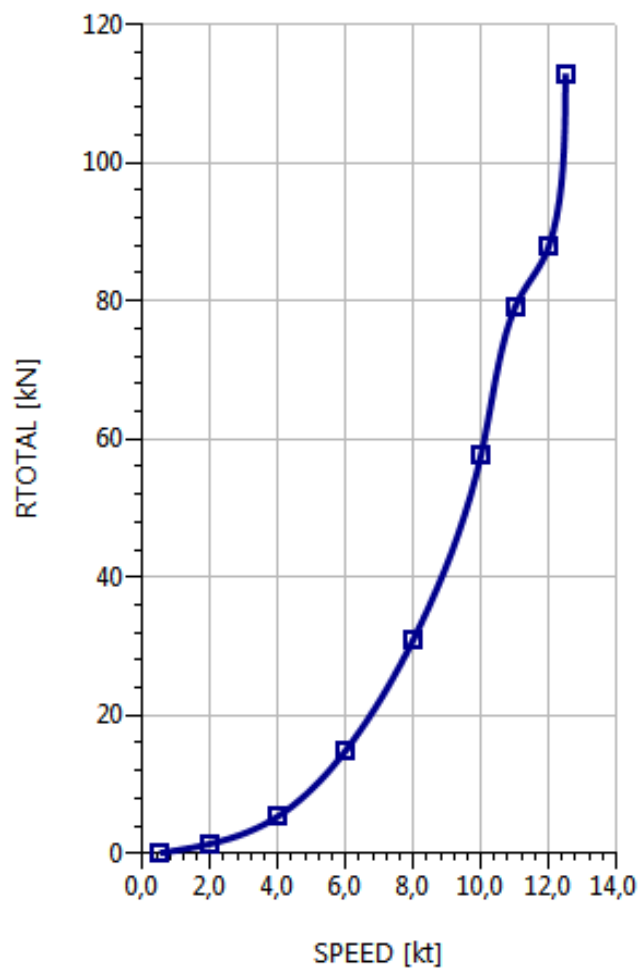
El método de predicción utilizado será el Oortmerssen que es el más adecuado para remolcadores y la línea de fricción utilizada será la ITTC-57.

Para aproximar el factor de forma se utiliza el método Holtrop ya que es el que mejor se aproxima y se añadirá también el cálculo por porcentaje de los apéndices y el margen de mar.

Vessel drag	Calc	ITTC-78 (CT)
Technique:		Prediction
Prediction:		Oortmerssen
Reference ship:		
Model LWL:	[m]	
Viscous		
Expansion:		Standard
Friction line:		ITTC-57
Hull form factor:	On	1,405
Speed corr:	Off	
Spray drag corr:	Off	
Corr allowance:		ITTC-78 (v2008)
Roughness [mm]:	Off	
Catamaran		
Interference:	Off	
Added drag		
Appendage:	Calc	Percentage
Wind:	Off	
Seas:	Off	
Shallow/channel:	Off	
Towed:	Off	
Margin:	Calc	Hull + added drag [15...

- Resultados.

Obtenemos una gráfica de la resistencia total frente a la velocidad, y los resultados para cada velocidad de buque de las distintas resistencias, así como la potencia necesaria para vencerla.



Resistance

15 oct 2016 07:43

HydroComp NavCad 2014

Project ID Remolcador 85 TPF

Description

File name remolcador proyecto.henc

Analysis parameters

Vessel drag		ITTC-78 (CT)	Added drag	
Technique:	[Calc] Prediction		Appendage:	[Calc] Percentage
Prediction:	Oortmerssen		Wind:	[Off]
Reference ship:			Seas:	[Off]
Model LWL:			Shallow/channel:	[Off]
Expansion:	Standard		Towed:	[Off]
Friction line:	ITTC-57		Margin:	[Calc] Hull + added drag [15%]
Hull form factor:	[On] 1,405		Water properties	
Speed corr:	[Off]		Water type:	Salt
Spray drag corr:	[Off]		Density:	1026,00 kg/m3
Corr allowance:	ITTC-78 (v2008)		Viscosity:	1,18920e-6 m2/s
Roughness [mm]:	[Off]			

Prediction method check [Oortmerssen]

Parameters	FN [design]	CP	LWL/BWL	BWL/T	XCB/LWL	IE	CX
Value	0,35	0,55	2,73*	2,71	0,460	27,6	0,94
Range	0,05-0,50	0,51-0,69	3,50-6,30	1,90-3,40	0,467-0,537	10,0-38,0	0,73-0,97

Prediction results

SPEED [kt]	SPEED COEFS		ITTC-78 COEFS						
	FN	FV	RN	CF	[CTLT/CF]	CR	dCF	CA	CT
0,50 !	0,014	0,026	7,53e6	0,003154	1,405	0,000001	0,000000	0,000150	0,004582
2,00	0,056	0,103	3,01e7	0,002499	1,405	0,000001	0,000000	0,000620	0,004131
4,00	0,111	0,205	6,02e7	0,002245	1,405	0,000001	0,000000	0,000731	0,003886
6,00	0,167	0,308	9,03e7	0,002114	1,405	0,000949	0,000000	0,000767	0,004687
8,00	0,223	0,410	1,20e8	0,002028	1,405	0,001827	0,000000	0,000782	0,005459
10,00	0,278	0,513	1,51e8	0,001965	1,405	0,002911	0,000000	0,000787	0,006460
11,00	0,306	0,564	1,66e8	0,001939	1,405	0,003669	0,000000	0,000788	0,007182
12,00	0,334	0,615	1,81e8	0,001916	1,405	0,003240	0,000000	0,000789	0,006720
+ 12,50 +	0,348	0,641	1,88e8	0,001905	1,405	0,004568	0,000000	0,000789	0,008033
RESISTANCE									
SPEED [kt]	RBARE [kN]	RAPP [kN]	RWIND [kN]	RSEAS [kN]	RCHAN [kN]	RTOWED [kN]	RMARGIN [kN]	RTOTAL [kN]	
0,50 !	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,10	
2,00	1,19	0,06	0,00	0,00	0,00	0,19	0,19	1,44	
4,00	4,48	0,22	0,00	0,00	0,00	0,71	0,71	5,41	
6,00	12,15	0,61	0,00	0,00	0,00	1,91	1,91	14,68	
8,00	25,17	1,26	0,00	0,00	0,00	3,96	3,96	30,39	
10,00	46,54	2,33	0,00	0,00	0,00	7,33	7,33	56,19	
11,00	62,60	3,13	0,00	0,00	0,00	9,86	9,86	75,59	
12,00	69,71	3,49	0,00	0,00	0,00	10,98	10,98	84,18	
+ 12,50 +	90,42	4,52	0,00	0,00	0,00	14,24	14,24	109,18	
EFFECTIVE POWER									
SPEED [kt]	PEBARE [kW]	PETOTAL [kW]	OTHER						
			CTLR	CTLT	RBARE/W				
0,50 !	0,0	0,0	0,00001	0,03914	0,00001				
2,00	1,2	1,5	0,00001	0,03529	0,00011				
4,00	9,2	11,1	0,00001	0,03320	0,00041				
6,00	37,5	45,3	0,00811	0,04004	0,00112				
8,00	103,6	125,1	0,01561	0,04663	0,00231				
10,00	239,4	289,1	0,02487	0,05518	0,00428				
11,00	354,3	427,8	0,03134	0,06135	0,00576				
12,00	430,4	519,7	0,02768	0,05741	0,00641				
+ 12,50 +	581,4	702,1	0,03902	0,06862	0,00831				

Report ID20161015-1943

HydroComp NavCad 2014 14.02.0029.51032.539

Por lo tanto, según los resultados, tendremos una resistencia al avance y una potencia requerida a la velocidad máxima de 12,5 nudos de:

Resistencia (KN)	109,18
Potencia (kW)	702,1

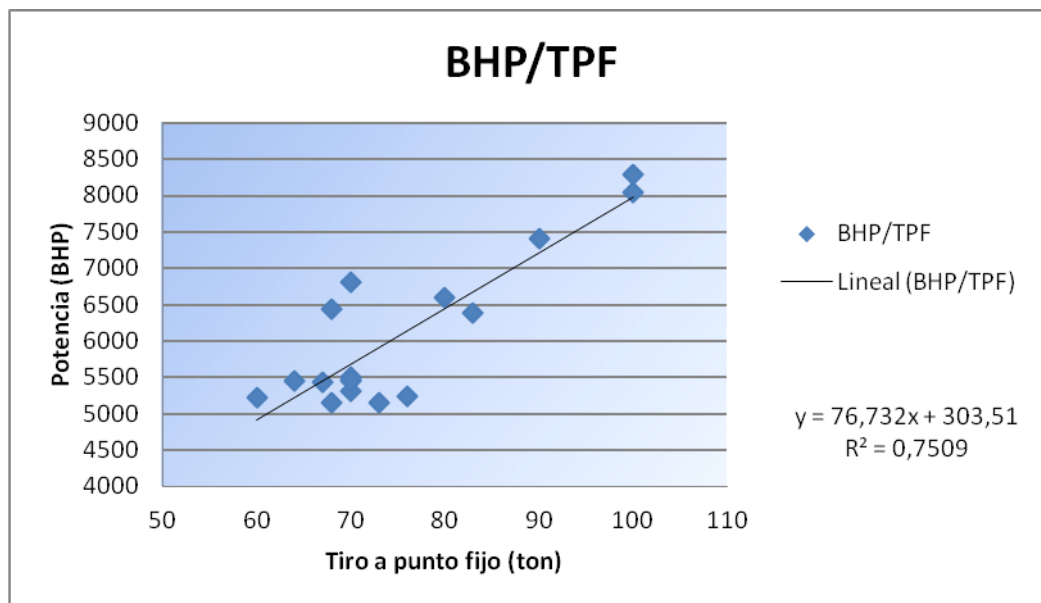
3. Cálculo de potencia a partir de TPF.

Una vez determinada la potencia necesaria para alcanzar la velocidad máxima requerida en aguas libres, se procede a continuación al cálculo de la potencia necesaria a partir del tiro requerido para poder determinar posteriormente los motores que integrarán la planta propulsora. La demanda de potencia para obtener el tiro requerido en un remolcador suele ser mucho mayor que la necesaria para alcanzar las velocidades máximas demandadas.

Este cálculo ya lo hemos hecho en el Cuaderno 1 mediante dos métodos:

- **Determinación de la potencia necesaria mediante regresiones.**

A partir de la base de datos de buques similares, se realiza una recta de regresión de la potencia frente al TPF, que ya conocemos al estar indicado en la RPA.



De esta regresión obtenemos por tanto la estimación de la potencia propulsora de nuestro buque:

$$\text{BHP} = 76,732 \cdot \text{TPF} + 303,51 = 6825,74 \text{ cv} = 5090,04 \text{ kW}$$

- **Determinación de la potencia necesaria mediante el método de "El Proyecto Básico del Buque Mercante".**

Este método permite obtener la potencia propulsora a partir del TPF y de un coeficiente k_1 , que depende del tipo de propulsor que instale el remolcador.

El K_1 lo obtendremos de la siguiente tabla:

Una hélice sin tobera	65-70
Dos hélices sin tobera	63-68
Una hélice con timón-tobera (Kort)	60-65
Dos hélices con timón-tobera (Kort)	55-60
Dos hélices con tobera, azimutal (*)	55-60
Dos hélices cicloidales azimutales (**)	63-68

(*) *Aquamaster o Schottel.*
 (**) *Voith-Schneider.*

Como se puede comprobar, los requerimientos de potencia para un mismo requisito de tiro a punto fijo es menor cuando se utilizan dos propulsores gemelos con tobera tipo Schottel en comparación a las otras alternativas posible. Utilizando esta alternativa, escogiendo un valor K_1 de 60, la potencia estimada mediante este método es la siguiente:

$$\text{BHP} = K_1 \cdot \text{TPF} = 60 \cdot 85 = 5100 \text{ Kw}$$

Potencia a partir de regresiones	5090,04 kW
Potencia a partir de "Proyecto Básico de Buque Mercante"	5100 kW

Como podemos ver, el resultado es muy parecido al obtenido con las regresiones.

4. Cálculo de la potencia demandada por las bombas del sistema FiFi I contraincendios.

A la demanda de potencia exigida por la navegación en aguas libres y a la exigida al tiro a punto fijo, hay que unirle la demanda de potencia exigida por las bombas de los monitores del sistema FiFi I contraincendios, ya que se ha decidido que sean los motores propulsores, a través de unas cajas de engranajes, las que accionen dichas bombas debido a la gran potencia que estas demandan a causa del elevado caudal necesario.

De este modo, es necesario hacer una estimación de la potencia consumida cuando el buque esté en la situación de apagar un incendio, lo que supone que no sólo que están en funcionando las bombas contraincendios, sino que también debe quedar un margen de potencia que permita la maniobrabilidad del buque.

Tal y como queda reflejado en la normativa del Lloyd's Register of Shipping en la Pt. 7 Ch.3, Sec.2, para que el buque obtenga la cota de Clase FiFi I, el buque debe disponer como mínimo de una bomba destinada al contra incendios exterior. Su capacidad total debe ser de 2400 m³/h. En el caso de disponer de más bombas, dichas bombas deben tener la capacidad adecuada para cubrir las necesidades de los monitores funcionando simultáneamente, es decir, en conjunto deben ofrecer una capacidad total de 2400 m³/h.

Se dispondrán de dos bombas modelo OGF 250x350 de la marca JASON Eureka, alimentando cada una a un monitor. Estas bombas, según el fabricante, son las bombas estándar para los sistemas de FiFi I y la bomba contraincendios más utilizada a nivel mundial para los sistemas de FiFi.

Se trata de bombas centrífugas compactas de flujo único de aspiración radial, con un consumo 650 kW cada una, a una presión de 14,84 bares y una velocidad de 1780 rpm.

De este modo, la potencia demandada por estas bombas al 100% de carga es de 1300 kW.

5. Elección de la planta propulsora del buque.

5.1 Elección del motor.

Por lo tanto, en base a los resultados obtenidos, tenemos tres potencias que deben alcanzar nuestros motores:

Potencia a partir de TPF	5100 kW
Potencia a máxima velocidad en aguas tranquilas	702,1 kW
Potencia requerida por las bombas FiFi conraincendio	1300 kW

Como ya indicamos antes, la condición de remolque es de lejos la más restrictiva, y en base a ella tendremos que escoger los motores que utilizaremos.

Buscando en catálogos de fabricantes de motores del tipo Diesel Dual MDO/ LNG se encuentra un gran inconveniente, y es que hay muy pocos motores de estas características, debido a lo novedosos que son.

En base a esto, solo encontramos un motor que encaje en nuestro requisitos, el Wärtsilä 6L34DF, con una potencia de 3000 kW, que ha sido diseñado por la empresa finlandesa Wärtsilä para buques de diversa variedad y dimensiones.

Así pues, instalando dos motores como este se obtendría una potencia total de 6000 kW, más de lo que en principio se necesitaría para el tiro característico de este remolcador.

Con esta configuración se cumple también, como es lógico, la demanda de potencia para los criterios de velocidad en aguas libres y con las exigencias de operaciones conraincendios.

Las especificaciones técnicas del motor se detallaran con mucha más profundidad en el cuaderno 10, pero a continuación añadimos un pequeño resumen:

Wärtsilä 34DF

Advanced dual-fuel technology & efficiency, used for both main engine and generating set applications

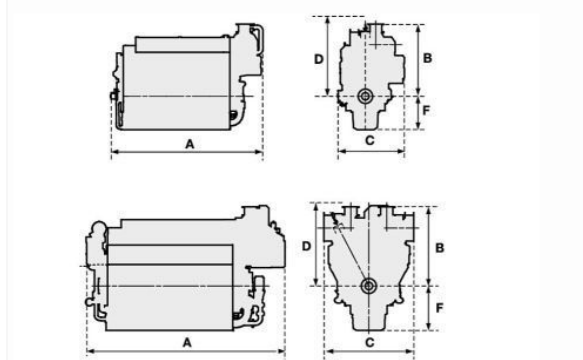
The Wärtsilä 34DF is manufactured in configurations from 6L to 16V, giving 500 kW per cylinder and a total maximum mechanical output of 8000 kW. The engine speed is 750 rpm.

Based on the well proven and reliable Wärtsilä 32 diesel engine introduced in the mid-1990s, fuel flexibility means the engine can be optimized for constant speed generating sets, as well as variable speed mechanical drives, for main engine applications.



Wärtsilä 34DF		IMO Tier III, EPA T3	
Cylinder bore	340 mm	Fuel specification:	
Piston stroke	400 mm	Fuel oil	700 cSt/50°C
Cylinder output	500 kW/cyl		7200 sR1/100°F
Speed	750 rpm	ISO 8217	
Mean effective pressure	22.0 bar	category ISO-F-DMX, DMA & DMB	
Piston speed	10.0 m/s	BSEC 7280 kJ/kWh at ISO cond. BSGC 7200kJ/kWh at ISO cond.	

Dimensions (mm) and weights (tonnes)							Rated power	
Engine type	A	B	C	D	F	Weight	Engine type	kW
6L34DF	5 325	2 550	2 380	2 345	1 155	35	6L34DF	3 000
8L34DF	5 960	2 550	2 610	2 345	1 155	44	8L34DF	4 000
9L34DF	6 870	2 550	2 610	2 345	1 155	49	9L34DF	4 500
12V34DF	6 865	2 435	2 900	2 120	1 210	61	12V34DF	6 000
16V34DF	7 905	2 570	3 325	2 120	1 210	77	16V34DF	8 000



5.2 Elección del propulsor.

Además del tiro requerido, el tipo de propulsor también condicionará la potencia de nuestro buque. En este sentido, las hélices de tipo azimutal de tipo Schottel, por ejemplo, son las que tienen un mayor rendimiento, siendo necesaria una menor potencia propulsora para obtener el tiro requerido, por lo que utilizaremos una pareja de hélices de este tipo. Pueden ser de paso fijo o de paso variable, en nuestro caso emplearemos las hélices de paso fijo.

Este sistema consiste en una hélice suspendida de un eje vertical en Z o ángulo recto. Fijo al eje hay una tobera dentro de la cual gira la hélice y todo el conjunto puede girar 360° sobre dicho eje vertical. Con este giro se consigue dirigir el chorro de la corriente de expulsión en la dirección deseada, dando una gran maniobrabilidad al remolcador que puede desplazarse en todos los sentidos. Dicha maniobrabilidad es comparable a la de los de tipo Voith-Schneider, aunque trabajando ambos propulsores para maniobrar de costado pueden molestarse el uno al otro.

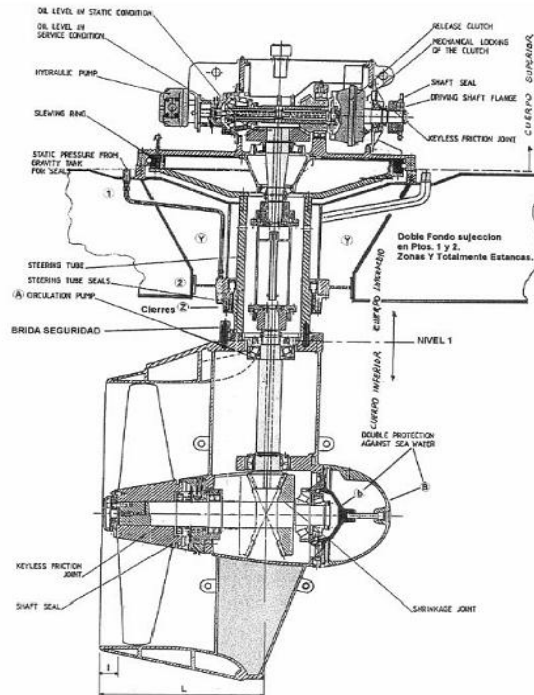


La tobera disminuye las vibraciones inducidas en el casco por la hélice ya que proporciona una mayor regularidad del flujo en su interior, reduciendo las fluctuaciones generadas por el propulsor. Así mismo proporciona una protección al flujo de agua afectado por la hélice y por lo tanto las variaciones de presión sobre el casco en las proximidades del propulsor disminuyen. Las toberas se usan para incrementar la fuerza de tracción de un buque a bajas velocidades. La mayor contribución de las toberas en la propulsión del buque se presenta en la condición de tracción a punto fijo. Ya que a medida que la velocidad del buque aumenta decrece la contribución de la tobera al empuje total.

Schottel ha desarrollado un diseño modular que integra todos los sistemas, componentes y dispositivos necesarios para que el propulsor azimutal opere con mayor fiabilidad y con la mayor autonomía posible. El propulsor se divide en tres módulos llamados cuerpo inferior, intermedio y superior. La tobera, que pertenece al cuerpo inferior, está especialmente diseñada para propulsores azimutales. La relación entre el diámetro longitud y la situación de la hélice en la tobera permiten que el par de giro sea mínimo. Los propulsores Schottel son muy fáciles de instalar, desmontar, y de intercambiar sus componentes. Los módulos básicos constan de lo siguiente:

- Cuerpo superior: Contiene los engranajes de reducción, de giro o gobierno de la unidad, el embrague y el tanque de lubricación.
- Cuerpo intermedio: Consta de cilindro soporte, cilindro de gobierno y eje de transmisión vertical.
- Cuerpo inferior: Contiene los engranajes de reducción secundaria, la carcasa, la hélice y la tobera.

El diseño del propulsor con sus diferentes cuerpos es el siguiente:



A la hora de escoger el modelo de Schottel que queremos emplear, entramos en la base de datos de Schottel y observamos cual es el que más se ajusta a nuestra potencia de motor.

Para buques de tipo C, que realizan labores offshore como es el caso de nuestro buque, el modelo más adecuado para los 3000 kW de nuestro motor es el SPR 630, con un diámetro de 3,4 metros.

Type	Input Power [kW]				Input speed [min ⁻¹]	Propeller ø [m]	Weight [t]*
	A	B	C	D			
SRP 100	-	190	200	225	1800/ 2300	0.80	1.50
SRP 130	-	260	280	315	1800/ 2000	1.05	1.65
SRP 150	-	310	330	370	1800/ 2100	1.10	2.10
SRP 190	-	470	500	560	1800	1.40	3.60
SRP 230	-	660	700	790	1600/ 1800	1.50	7.50
SRP 260	-	770	820	920	1000/ 1200/ 1500/ 1800	1.75	9.60
SRP 340	1090	1170	1250	1400	750/ 900/ 1000/ 1200/ 1600/ 1800	2.10	17.00
SRP 360	1190	1280	1360	1530	750/ 900/ 1000/ 1200/ 1600/ 1800	2.20	17.00
SRP 430	1450	1560	1660	1920	750/ 900/ 1000/ 1200/ 1600/ 1800	2.40	21.50
SRP 460	1750	1870	2000	2240	750/ 900/ 1000/ 1200/ 1600/ 1800	2.60	27.50
SRP 510	2030	2170	2320	2600	750/ 900/ 1000/ 1200/ 1600/ 1800	2.80	31.00
SRP 560	2190	2350	2500	2800	750/ 900/ 1000/ 1200/ 1600/ 1800	3.00	35.00
SRP 610	2490	2670	2850	3200	600/ 750/ 900/ 1000/ 1200/ 1800	3.20	42.00
SRP 630	2520	2700	3000	3300	600/ 750/ 900/ 1000	3.40	53.00
SRP 730	3270	3500	3730	4200	750/ 900/ 1000	3.80	80.00

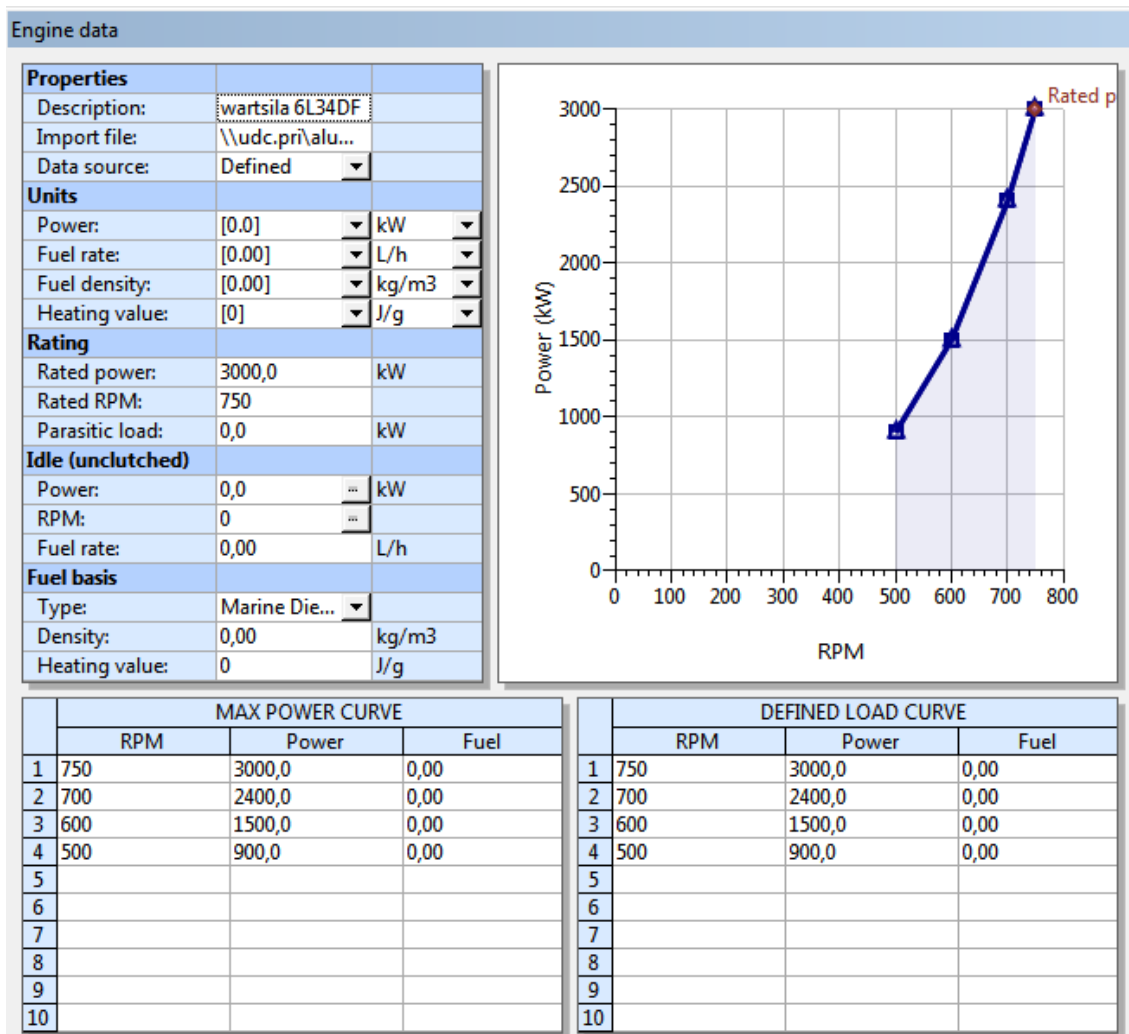
Una vez hemos escogido el propulsor que queremos utilizar, procedemos a dimensionarlo para ese diámetro mediante el software Navcad, y comprobar que somos capaces de alcanzar el tiro a punto fijo requerido.

Utilizamos el modo Propulsion del programa esta vez, introduciendo los mismos datos que en el caso del cálculo de la resistencia al avance en los campos de condición, casco, apéndices, cargas ambientales y margen de mar.

Añadiremos los datos del motor y propulsor necesarios para dimensionar este segundo de la siguiente manera:

Propulsor		
Count:	2	▼
Propulsor type:	Propeller series	▼
Propeller type:	FPP	▼
Propeller series:	Kaplan 19A	▼
Propeller sizing:	By power	▼
Reference prop:		
Blade count:	4	▼
Expanded area ratio:	0,6999	
Propeller diameter:	3400,0	mm
Propeller mean pitch:	3696,6	mm
Hub immersion:	2700,0	... mm
Engine/gear		
Engine data:	wartsila 6L34DF	▼
Rated RPM:	750	RPM
Rated power:	3000,0	kW
Gear efficiency:	1,000	...
Load correction:	Off	▼
Gear ratio:	4,467	
Shaft efficiency:	0,970	...
Propeller options		
Oblique angle corr:	Off	▼
Shaft angle to WL:	0,00	deg
Added rise of run:	0,00	deg
Propeller cup:	0,0	mm
KTKQ corrections:	Standard	▼
Scale correction:		▼

En el apartado del propulsor, simplemente introduciremos el número, tipo, serie, número de palas y diámetro, siendo el resto de datos dimensionados al hacer el cálculo. En el apartado del motor, lo primero que hacemos es introducir la curva de nuestro motor, con los kW que da para cada velocidad en revoluciones por minuto. Además utilizaremos unos rendimientos de 1 y 0,97, mientras que el valor de Gear Ratio se dimensionará. La curva de nuestro motor a introducir es la siguiente:

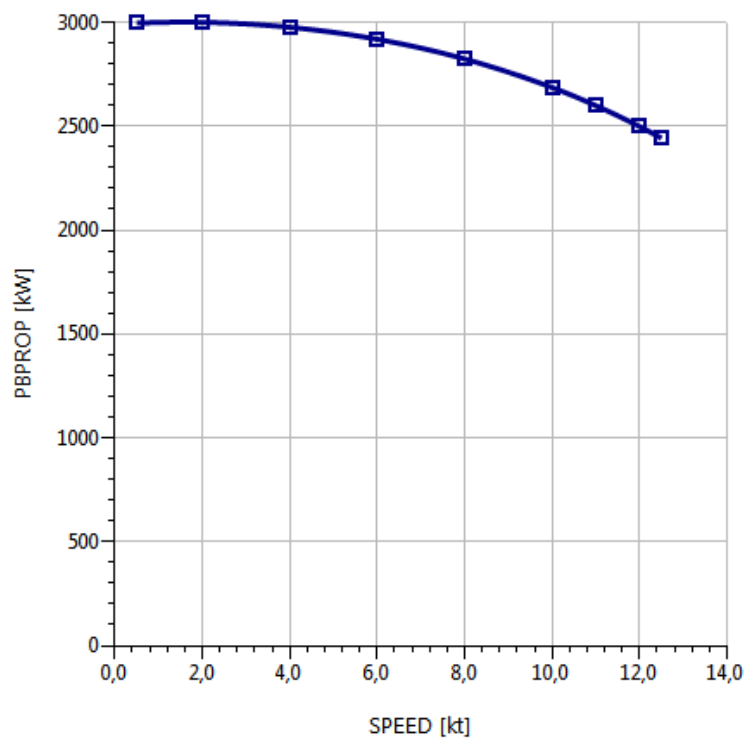


Y para el apartado de cálculo, utilizaremos de nuevo el método Oortmerssen, introduciendo además el diámetro máximo del propulsor así como el factor de forma del buque calculado por Holtrop, y utilizamos la condición de remolque para el tipo de análisis, fijando las revoluciones en 750 rpm, quedando de esta forma:

Hull-propulsor		Calc	
Technique:			Prediction
Prediction:			Oortmerssen
Reference ship:			
Max prop diam:	[mm]		3400,0
Corrections			
Viscous scale corr:	On		Standard
Rudder location:			Behind propeller
Friction line:			ITTC-57
Hull form factor:			1,405
Corr allowance:			ITTC-78 (v2008)
Roughness [mm]:	Off		
Ducted prop corr:	On		
Tunnel stern corr:	Off		
Effective diam:	[m]		
Recess depth:	[m]		
System analysis			
Cavitation criteria:			Keller eqn
Analysis type:			Towing
CPP method:			Fixed RPM
Engine RPM:			
Mass multiplier:			
RPM constraint:			
Limit [RPM/s]:			

Calculamos entonces, utilizando como datos nominales una potencia de 3000 kW a 750 rpm, una velocidad de 2 nudos, y la condición de remolque.

Obtenemos primeramente la gráfica de la potencia frente a la velocidad:



Y los siguientes resultados:

Propulsion

26 oct 2016 10:42
HydroComp NavCad 2014

Project ID Remolcador 85 TPF
Description
File name remolcador proyecto.hcnc

Analysis parameters

Hull-propulsor interaction		System analysis	
Technique:	[Calc] Prediction	Cavitation criteria:	Keller eqn
Prediction:	Oortmerssen	Analysis type:	Towing
Reference ship:		CPP method:	Fixed RPM
Max prop diam:	3400,0 mm	Engine RPM:	
Corrections		Mass multiplier:	
Viscous scale corr:	[On] Standard	RPM constraint:	
Rudder location:	Behind propeller	Limit [RPM/s]:	
Friction line:	ITTC-57	Water properties	
Hull form factor:	1,405	Water type:	Salt
Corr allowance:	ITTC-78 (v2008)	Density:	1026,00 kg/m3
Roughness [mm]:	[Off] 0,00	Viscosity:	1,18920e-6 m2/s
Ducted prop corr:	[On]		
Tunnel stern corr:	[Off]		
Effective diam:			
Recess depth:			

Prediction method check [Oortmerssen]

Parameters	FN [design]	CP	LWL/BWL	BWL/T	XCB/LWL	IE	CX
Value	0,06	0,55	2,73*	2,71	0,460	27,6	0,94
Range	0,05-0,50	0,51-0,69	3,50-6,30	1,90-3,40	0,467-0,537	10,0-38,0	0,73-0,97

Prediction results [System]

SPEED [kt]	HULL-PROPULSOR				ENGINE				
	PETOTAL [kW]	WFT	THD	EFFR	RPMENG [RPM]	PBPROP [kW]	FUEL [L/h]	LOADENG [%]	
0,50 !	0,0	0,0862	0,3083	1,1678	750	3000,0	—	100,0	
+ 2,00 +	1,5	0,0897	0,2868	1,1587	750	3000,0	—	100,0	
4,00	11,1	0,0940	0,2614	1,1444	750	3000,0	—	100,0	
6,00	45,3	0,0978	0,2398	1,1276	750	3000,0	—	100,0	
8,00	125,1	0,1011	0,2219	1,1083	750	3000,0	—	100,0	
10,00	289,1	0,1040	0,2077	1,0864	750	3000,0	—	100,0	
11,00	427,8	0,1052	0,2020	1,0746	750	3000,0	—	100,0	
12,00	519,7	0,1064	0,1972	1,0621	750	3000,0	—	100,0	
12,50	702,1	0,1069	0,1952	1,0556	750	3000,0	—	100,0	
POWER DELIVERY									
SPEED [kt]	RPMPROP [RPM]	QPROP [kN-m]	QENG [kN-m]	PDPROP [kW]	PSPROP [kW]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	TRANSP	CPPITCH [mm]
0,50 !	167	193,74	43,27	2910,0	3000,0	6000,0	6000,0	0,0	3693,2
+ 2,00 +	167	192,24	42,93	2910,0	3000,0	6000,0	6000,0	0,0	3691,5
4,00	167	189,87	42,40	2910,0	3000,0	6000,0	6000,0	0,0	3704,3
6,00	167	187,08	41,78	2910,0	3000,0	6000,0	6000,0	0,0	3734,5
8,00	167	183,88	41,06	2910,0	3000,0	6000,0	6000,0	0,0	3782,6
10,00	167	180,25	40,25	2910,0	3000,0	6000,0	6000,0	0,0	3849,5
11,00	167	178,28	39,81	2910,0	3000,0	6000,0	6000,0	0,0	3890,3
12,00	167	176,21	39,35	2910,0	3000,0	6000,0	6000,0	0,0	3936,3
12,50	167	175,13	39,11	2910,0	3000,0	6000,0	6000,0	0,0	3961,1
EFFICIENCY					THRUST				
SPEED [kt]	EFFO	EFFG	EFFOA	MERIT	THRPROP [kN]	DELTHR [kN]	TOWPULL [kN]		
0,50 !	0,0430	1,0000	0,0368	1,4926	621,15	859,34	859,24		
+ 2,00 +	0,1590	1,0000	0,1400	1,3312	572,53	816,65	815,22		
4,00	0,2886	1,0000	0,2612	1,1518	515,58	761,57	756,16		
6,00	0,3946	1,0000	0,3637	1,0011	464,96	706,91	692,23		
8,00	0,4798	1,0000	0,4465	0,86898	418,25	650,88	620,49		
10,00	0,5446	1,0000	0,5075	0,74819	373,54	591,91	535,71		
11,00	0,5691	1,0000	0,5290	0,69037	351,46	560,91	485,32		
12,00	0,5879	1,0000	0,5440	0,6336	329,34	528,76	444,58		
12,50	0,5950	1,0000	0,5490	0,60551	318,23	512,21	403,03		

Report I:020161026-1042

HydroComp NavCad 2014 14.02.0029 51002 509

Prediction results [Propulsor]

SPEED [kt]	PROPULSOR COEFS								
	J	KT	KQ	KTJ2	KQJ3	CTH	CP	RNPROP	KTN
0,50 !	0,0248	0,5814	0,05333	948	3511,9	2414,1	48118	2,39e7	0,2929
+ 2,00 +	0,0987	0,5359	0,05292	55,034	55,079	140,14	760,56	2,40e7	0,2496
4,00	0,1964	0,4826	0,05227	12,507	6,8964	31,848	96,417	2,40e7	0,1998
6,00	0,2934	0,4352	0,05150	5,055	2,0389	12,872	28,93	2,41e7	0,1578
8,00	0,3898	0,3915	0,05062	2,5767	0,85482	6,5616	12,341	2,43e7	0,1223
10,00	0,4857	0,3496	0,04962	1,4822	0,43316	3,7745	6,379	2,44e7	0,0914
11,00	0,5335	0,3289	0,04908	1,1558	0,32323	2,9432	4,8128	2,45e7	0,0771
12,00	0,5812	0,3082	0,04851	0,91239	0,24702	2,3234	3,7212	2,47e7	0,0633
12,50	0,6051	0,2978	0,04821	0,81344	0,21759	2,0714	3,2981	2,47e7	0,0565

SPEED [kt]	CAVITATION								
	SIGMAV	SIGMAN	SIGMA07R	TIPSPEED [m/s]	MINBAR	PRESS [kPa]	CAVAVG [%]	CAVMAX [%]	PITCHFC [mm]
0,50 !	4474,09	2,74	0,57	29,82	0,624	48,50	9,4	9,4	2111,0
+ 2,00 +	281,79	2,74	0,57	29,82	0,615	48,13	9,1	9,1	2160,7
4,00	71,11	2,74	0,56	29,82	0,602	47,54	8,8	8,8	2247,8
6,00	31,87	2,74	0,56	29,82	0,586	46,63	8,3	8,3	2356,6
8,00	18,06	2,74	0,55	29,82	0,565	45,26	7,6	7,6	2484,7
10,00	11,63	2,74	0,54	29,82	0,538	43,42	6,7	6,7	2629,7
11,00	9,64	2,74	0,54	29,82	0,523	42,34	6,2	6,2	2707,8
12,00	8,12	2,74	0,53	29,82	0,508	41,18	5,7	5,7	2789,5
12,50	7,49	2,74	0,53	29,82	0,499	40,57	5,5	5,5	2831,5

Report ID:20181026-1042

HydroComp NavCad 2014 14.02.0029.51002.539

Hull data

General		Planing	
Configuration:	Monohull	Proj chine length:	0,000 m
Chine type:	Single/hard	Proj bottom area:	0,0 m2
Length on WL:	34,800 m	LCG fwd TR:	[XCG/LP 0,000] 0,000 m
Max beam on WL:	[LWL/BWL 2,729] 12,750 m	VCG below WL:	0,000 m
Max molded draft:	[BWL/T 2,713] 4,700 m	Aft station (fwd TR):	0,000 m
Displacement:	[CB 0,518] 1108,94 t	Deadrise:	0,00 deg
Wetted surface:	[CS 2,736] 530,6 m2	Chine beam:	0,000 m
ITTC-78 (CT)		Chine ht below WL:	0,000 m
LCB fwd TR:	[XCB/LWL 0,460] 16,008 m	Fwd station (fwd TR):	0,000 m
LCF fwd TR:	[XCF/LWL 0,540] 18,792 m	Deadrise:	0,00 deg
Max section area:	[CX 0,943] 56,5 m2	Chine beam:	0,000 m
Waterplane area:	[CWP 0,693] 307,5 m2	Chine ht below WL:	0,000 m
Bulb section area:	0,0 m2	Propulsor type:	SFP
Bulb ctr below WL:	0,000 m	Max prop diameter:	3400,0 mm
Bulb nose fwd TR:	0,000 m	Shaft angle to WL:	0,00 deg
Imm transom area:	[ATR/AX 0,000] 0,0 m2	Position fwd TR:	0,000 m
Transom beam WL:	[BTR/BWL 0,000] 0,000 m	Position below WL:	0,000 m
Transom immersion:	[TTR/T 0,000] 0,000 m	Transom lift device:	Flap
Half entrance angle:	27,62 deg	Device count:	0
Bow shape factor:	[AVG flow] 0,0	Span:	0,000 m
Stem shape factor:	[AVG flow] 0,0	Chord length:	0,000 m
		Deflection angle:	0,00 deg
		Tow point fwd TR:	0,000 m
		Tow point below WL:	0,000 m

Propulsor data

Propulsor		Propeller options	
Count:	2	Oblique angle corr:	Off
Propulsor type:	Propeller series	Shaft angle to WL:	0,00 deg
Propeller type:	CPP	Added rise of run:	0,00 deg
Propeller series:	Kaplan 19A	Propeller cup:	0,0 mm
Propeller sizing:	By power	KTKQ corrections:	Standard
Reference prop:		Scale correction:	Full ITTC
Blade count:	4	KT multiplier:	1,000
Expanded area ratio:	0,6999 [Size]	KQ multiplier:	1,000
Propeller diameter:	3400,0 mm [Size]	Blade T/C [0.7R]:	Standard
Propeller mean pitch:	[P/D 1,0857] 3691,5 mm [Size]	Roughness:	Standard
Hub immersion:	2700,0 mm	Cav breakdown:	Off
		Nozzle L/D:	Standard
Engine/gear		Design condition	
Engine data:	wartsila 6L34DF	Max prop diam:	3400,0 mm
Rated RPM:	750 RPM	Design speed:	2,00 kt
Rated power:	3000,0 kW	Reference power:	3000,0 kW
Gear efficiency:	1,000	Design point:	1,000
Load correction:	Off	Reference RPM:	750,0
Gear ratio:	4,478 [Size]	Design point:	1,000
Shaft efficiency:	0,970		

Report ID:20181026-1042

HydroComp NavCad 2014 14.02.0029.51002.539

Symbols and values

SPEED = Vessel speed
PETOTAL = Total vessel effective power
WFT = Taylor wake fraction coefficient
THD = Thrust deduction coefficient
EFFR = Relative-rotative efficiency
RPMENG = Engine RPM
PBPROP = Brake power per propulsor
FUEL = Fuel rate per engine
LOADENG = Percentage of engine max available power at given RPM
RPMPROP = Propulsor RPM
QPROP = Propulsor open water torque
QENG = Engine torque
PDPROP = Delivered power per propulsor
PSPROP = Shaft power per propulsor
PSTOTAL = Total vessel shaft power
PBTOTAL = Total vessel brake power
TRANSP = Transport factor
EFFO = Propulsor open-water efficiency
EFFG = Gear efficiency (load corrected)
EFFOA = Overall propulsion efficiency [=PETOTAL/PSTOTAL]
MERIT = Propulsor merit coefficient
THRPROP = Open-water thrust per propulsor
DELTHR = Total vessel delivered thrust
J = Propulsor advance coefficient
KT = Propulsor thrust coefficient [horizontal, if in oblique flow]
KQ = Propulsor torque coefficient
KTJ2 = Propulsor thrust loading ratio
KQJ3 = Propulsor torque loading ratio
CTH = Horizontal component of bare-hull resistance coefficient
CP = Propulsor thrust loading coefficient
RNPROP = Propeller Reynolds number at 0.7R
KTN = Nozzle thrust coefficient
SIGMAV = Cavitation number of propeller by vessel speed
SIGMAN = Cavitation number of propeller by RPM
SIGMA07R = Cavitation number of blade section at 0.7R
TIPSPEED = Propeller circumferential tip speed
MINBAR = Minimum expanded blade area ratio recommended by selected cavitation criteria
PRESS = Average propeller loading pressure
CAVAVG = Average predicted back cavitation percentage
CAVMAX = Peak predicted back cavitation percentage [if in oblique flow]
PITCHFC = Minimum recommended pitch to avoid face cavitation
+ = Design speed indicator
* = Exceeds recommended parameter limit
! = Exceeds recommended cavitation criteria [warning]
!! = Substantially exceeds recommended cavitation criteria [critical]
!!! = Thrust breakdown is indicated [severe]
--- = Insignificant or not applicable

Podemos observar que el tiro a punto fijo que se obtiene para una velocidad de 0,5 nudos ya sería mayor de 85 toneladas por lo que el tiro hipotético a 0 nudos, que sería mayor, cumpliría con el requerimiento de las 85 toneladas también.

Velocidad (nudos)	TPF (kN)	TPF (ton)
0,5	859,24	87,62
2	815,22	83,13
4	756,16	77,11

5.3 Hélice de proa.

Se definirá una hélice transversal en proa, de acuerdo a lo que se ha visto en otros buques semejantes al buque proyecto, y con el objetivo de aumentar la maniobrabilidad de este remolcador

Según el libro Proyecto Básico del Buque Mercante, el empuje requerido para estas hélices en el caso de un remolcador se calcula en función de la obra viva y la obra muerta:

$$\text{Empuje obra viva} = 6 - 9 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Empuje obra muerta} = 4 - 8 \text{ kg/m}^2$$

A continuación se muestran las áreas de la obra viva y la obra muerta tomadas de forma aproximada de la disposición general del buque:

	Área (m ²)	Empuje (kg)
Obra viva	278	2025
Obra muerta	184,3	1105,8

Se utilizará el mayor de los dos valores, es decir, el de la obra viva. Para calcular la potencia del motor de accionamiento de la hélice transversal se considerará según el libro de referencia, una relación entre el empuje y la potencia del motor de accionamiento de 11 kg/CV.

La potencia requerida será:

Empuje (kg)	2025
Empuje/Potencia (kg/Cv)	11
Potencia (kW)	135,4

Conociendo la potencia necesaria, hemos optado por escoger la marca Schottel también para nuestro propulsor de proa, y observando el catálogo, vemos que el modelo STT 110 es el que más se ajusta a nuestros requerimientos. A continuación podemos observar en la tabla las principales características de nuestro propulsor:

STT PROPULSO TRANSVERSAL

Technical Data

Type	Input power [kW]		Input speed* [min ⁻¹]	Propeller ø [m]	Tunnel length [m]	Approx. Weight** [t]
	C	E				
FP Type						
STT 60 T	95	120	1200/ 1500	0.54	1.00	0.49
STT 60	110	125	1200/ 1500	0.62	1.00	0.56
STT 110	185	200	1200/ 1500	0.79	1.00	0.89
STT 170 T	315	315	1200/ 1500/ 1800	0.99	1.50	1.68
STT 170	320	420	1200/ 1500/ 1800	1.09	1.50	1.73
STT 1	480	550	1200/ 1500/ 1800	1.24	1.50	3.00
STT 2	760	825	1200/ 1500/ 1800	1.54	1.50	4.50
STT 3	920	1100	1200/ 1500/ 1800	1.74	2.10	6.40
STT 4	1200	1500	1000/ 1200/ 1500	1.99	2.00	9.40
STT 5	1600	1900	1000/ 1200	2.24	2.35	10.50
STT 6	2000	2400	900/ 1000	2.59	2.75	17.00
STT 7	2600	2900	900/ 1000	2.79	2.80	21.00
STT 8	3000	3400	750	3.19	3.10	32.00
STT 710	3700			3.60		
STT 750	4500			3.90		
STT 800	5500			4.10		
CP Type						
STT 1	450	550	1200/ 1500/ 1800	1.29	1.70	3.50
STT 2	650	825	1200/ 1500/ 1800	1.54	2.00	4.60
STT 3	900	1100	1200/ 1500/ 1800	1.74	2.10	6.50
STT 4	1200	1500	1000/ 1200/ 1500	1.99	2.30	9.50
STT 5	1500	1900	1000/ 1200	2.24	2.80	12.10
STT 6	2000	2500	900/ 1000	2.59	3.25	18.60
STT 7	2500	2800	900/ 1000	2.79	3.40	22.50

Las ventajas de una hélice de este tipo son las siguientes:

- Para las condiciones extremas de trabajo, por ejemplo, en el sector offshore.
- Para servicio continuo y de tiempo limitado.
- Baja emisión de ruido
- Disponible con las hélices de paso variables o fijas
- Diseño compacto dada la disposición horizontal, vertical o inclinada de la brida de entrada de fuerza
- Combinable con motores diesel, hidráulica o eléctrica

En el caso del buque proyecto se utilizará para el accionamiento de la hélice de proa un motor eléctrico colocado de forma vertical. Dicho motor no necesita más que una entrada de corriente para operar, la cual provendrá de los generadores principales previo paso por el cuadro eléctrico principal del buque.

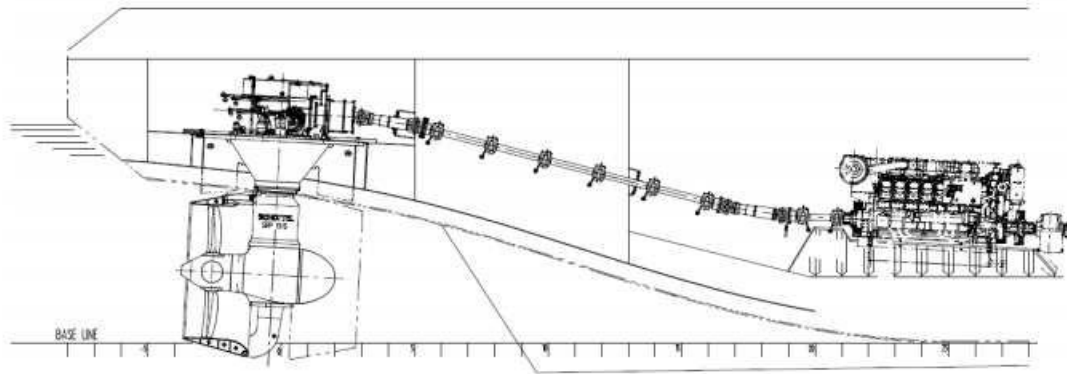
5.4 Línea de ejes.

La línea de ejes típica en los remolcadores solía tener las siguientes características:

- Se construían utilizando únicamente acero forjado.
- Se utilizaban ejes articulados en Z o W.
- Las conexiones eran de tipo estriada.
- Se utilizaban rodamientos de rodillos esféricos como si fueran rodamientos fijos y sueltos.
- Se utilizaba como lubricante grasa estándar multiusos de litio enjabonado.
- La rigidez de fundación era entorno a 500 KN/mm.
- Los cojinetes de mamparos estaban destinados a fallar debido a las desviaciones de rigidez radial.

Sin embargo, el problema de este tipo de disposición es que se precisa un gran número de rodamientos y cojinetes, propiciando un aumento de la complejidad de las tareas de

instalación, mantenimiento y reparación, siendo por otra parte un sistema muy frágil cuando se requieren altas revoluciones. Un ejemplo de este sistema es el siguiente:

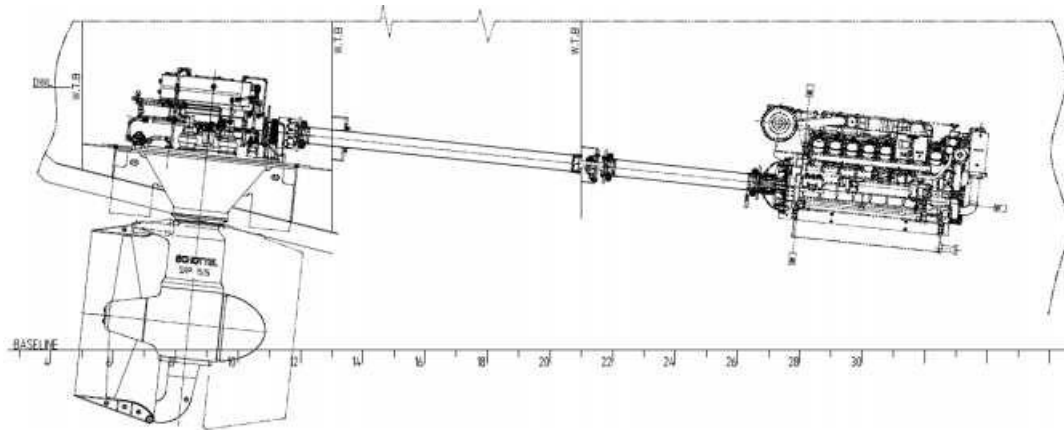


Ejemplo extremo de una disposición tradicional de alta velocidad que requiere 8 rodamientos por línea de ejes:

En las instalaciones modernas, ya no se encuentran a menudo ejes de transmisión articulados ya que, con ángulos de inclinación comprendidos entre 4° y 8° la línea de ejes se comporta como excitadores de vibraciones. Hay que tener en cuenta que según la empresa Schottel los propulsores acimutales deben tener un ángulo de inclinación con respecto a la horizontal comprendido entre 3° y 6° para obtener así un adecuado funcionamiento hidrodinámico de los mismos.

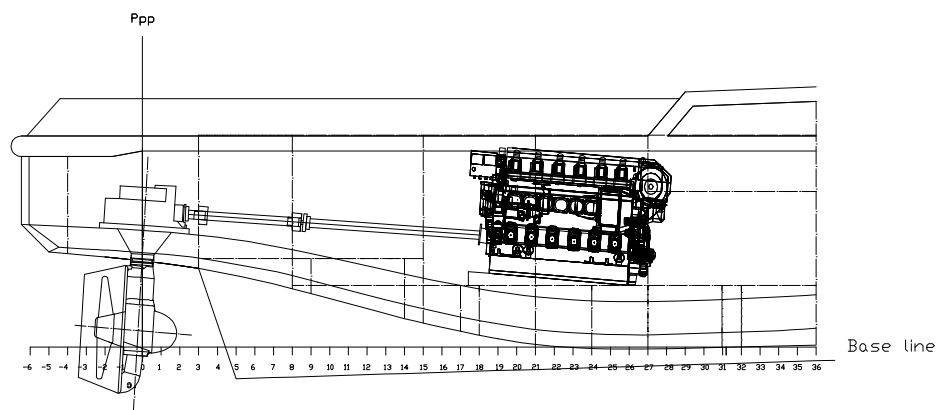
Por esto, utilizaremos ejes cilíndricos huecos de alta resistencia, recomendados por la empresa Schottel, ya que permiten tramos de ejes muchos más largos gracias a su rigidez a la flexión y su baja masa permiten reducir las frecuencias naturales de la propia línea de ejes. De este modo se consigue reducir el número de rodamientos y cojinetes, consiguiéndose instalaciones muy bien organizadas, fáciles de instalar, con una alineación fácil de conseguir, además de reducirse las necesidades de mantenimiento y de reparaciones.

Por lo tanto el aspecto de nuestra línea de ejes será muy similar a esta segunda opción:



Ejemplo óptimo de una disposición moderna con un rodamiento en una instalación de 8 metros de línea de ejes.

ANEXO I: Croquis de la posición de los propulsores.



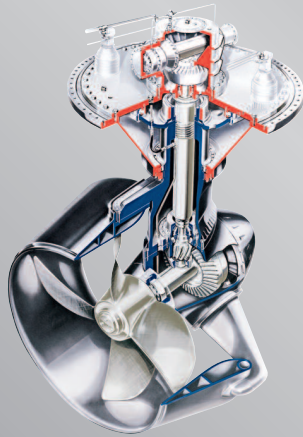
ESCALA 1 : 200		SISTEMA 		FORMATO UNE A-3		UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR DE FERROL GRADO EN INGENIERÍA DE PROPULSIÓN Y SERVICIOS DEL BUQUE <small>C:\Users\yale\Desktop\logotipo\12_25hoja_logo_cor.png</small>		
	AUTOR		FECHA	FIRMA		PROYECTO REMOLCADOR DE PUERTO Y DE ALTURA. PROPULSIÓN DUAL		
DIBUJADO	David Dopico Saavedra		2015/2016					
COMPROBADO								
VF BP NORMAS								
TUOR DEL PROYECTO	Raul Villa Caro					PLANO Croquis de la posición de los propulsores	REV.	HOJA 1 DE 1
ARCHIVO			SUSTITUIDO POR			SUSTITUYE A		

ANEXO II: Características de los propulsores.



YOUR PROPULSION EXPERTS

SCHOTTEL RUDDERPROPELLER THE SUPERIOR PROPULSION SYSTEM



**SRP · SCHOTTEL
RUDDERPROPELLER**
The heart of our product range



THE SCHOTTEL RUDDERPROPELLER. FROM BRILLIANT INVENTION TO GLOBAL CLASSIC

The SCHOTTEL Rudderpropeller is recognized worldwide as the classic marine propulsion system. Developed and built in 1950 by Josef Becker, founder of the present-day SCHOTTEL Group, it quickly conquered the world of modern shipbuilding. The name of SCHOTTEL has become a synonym for azimuthing rudderpropellers. In 2005, Josef Becker was honoured posthumously with the renowned Elmer A. Sperry Award for his pioneering invention. The original SCHOTTEL Rudderpropeller (SRP) has been subject to continuous ongoing development. Today, with a power rating of up to 6000 kW, it is the superior propulsion solution for a wide range of vessels.



Elmer A. Sperry Award

COMBINATION OF PROPULSION AND STEERING

The principal characteristics of the SRP derive from the combination of propulsion and azimuth steering. There is consequently no need for a rudder, and the engine power is optimally converted into thrust. The 360° rotation of the Rudderpropeller means that the full input power is available for manoeuvring.

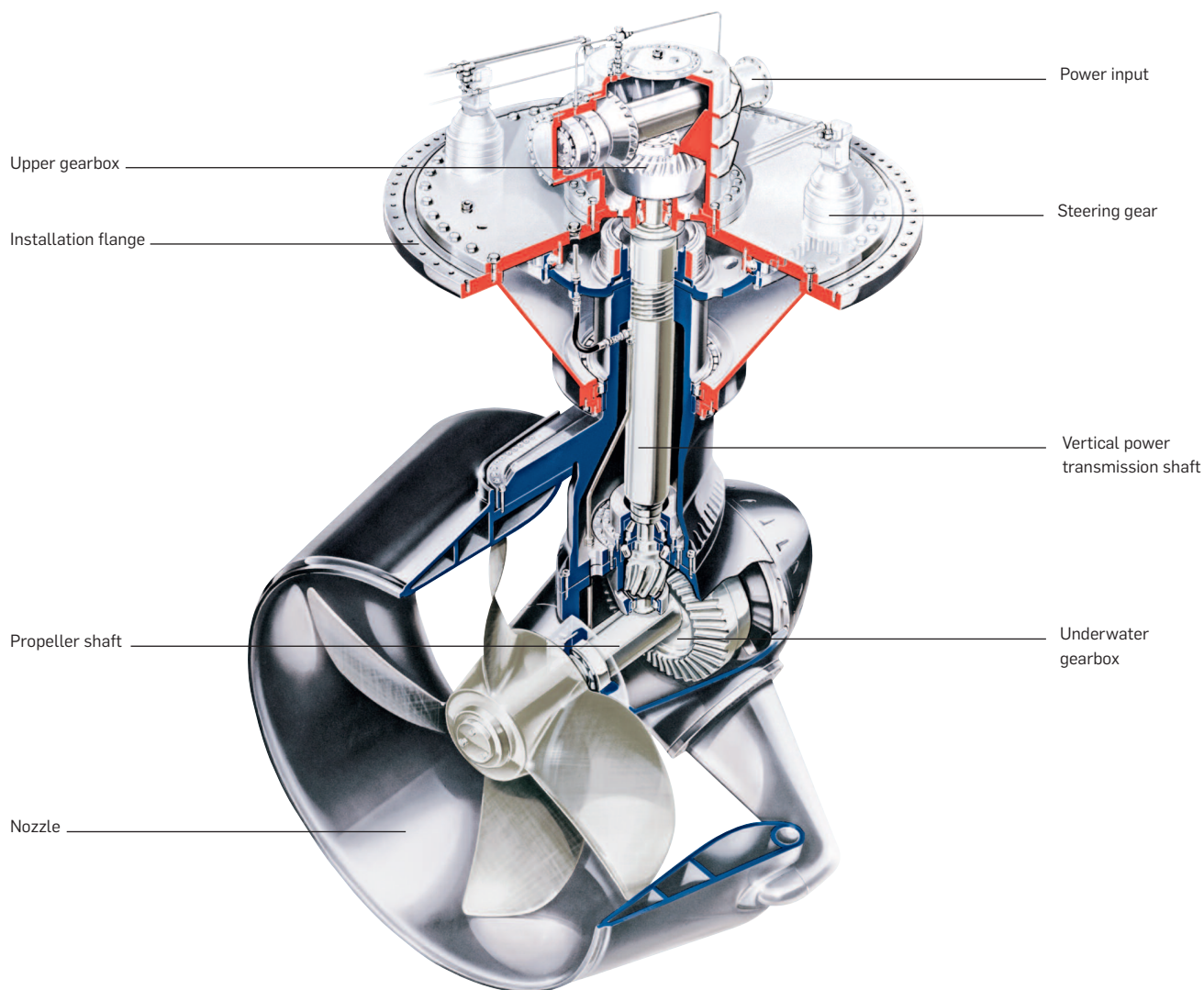
PROPULSION FOR EVERY APPLICATION

In tugs of all classes, in inland shipping or on the open sea, in offshore applications, under tropical or arctic conditions – the SRP can be found everywhere. SCHOTTEL engineers develop the appropriate propulsion concept for every requirement, whether diesel-electric or diesel-direct drive.



6900 TDW OIL PRODUCT TANKER KURA RIVER

Main propulsion: 2 x SRP 1012 FP (1200 kW each) / 1 x STT 170 LK (230 kW)



Here you can find
the technical data



The SRP is the ideal propulsion solution for many vessels where the focus is on optimal implementation of the available power.

The SCHOTTEL experts provide advice and support in matters of hydrodynamics, tank and model tests, monitoring and steering options, FE calculations, ice-class considerations and special solutions. Their experience forms the basis for long-term customer satisfaction.

ADVANTAGES

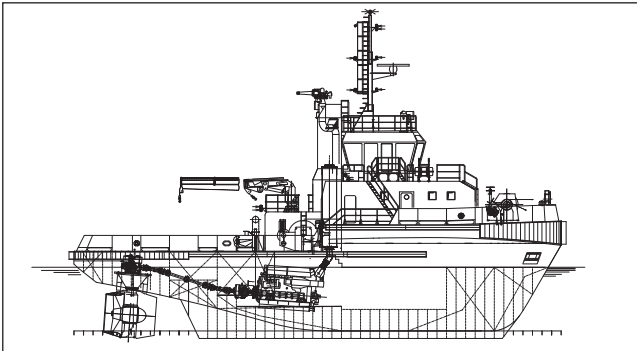
- Maximum manoeuvrability
- Optimum efficiency
- Economical operation
- Space-saving installation
- Simple maintenance
- High reliability
- Optimized in terms of cavitation and vibration
- Dependable design
- Fixed or controllable-pitch propeller
- Z or L drive

EQUIPMENT VARIANTS FOR WIDE-RANGING REQUIREMENTS

WELL INSTALLATION

Well installation from below is the most common type of installation. Installation from above is required if the vessel cannot be dry-docked or trimmed. This form of installation facilitates maintenance and complete exchange of the Rudderpropeller.

Bolted or welded? SCHOTTEL supplies the desired installation variant taking both the philosophy of the shipyard and the constraints of the design into account.

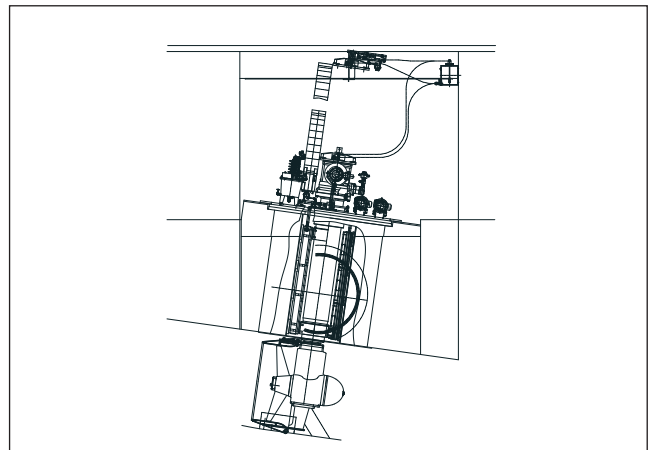


53 T BP ASD TUG CAPO MOLINI

Main propulsion: 2 x SCHOTTEL Rudderpropeller Type SRP 1212 (1650 kW each)

RETRACTABLE SYSTEM

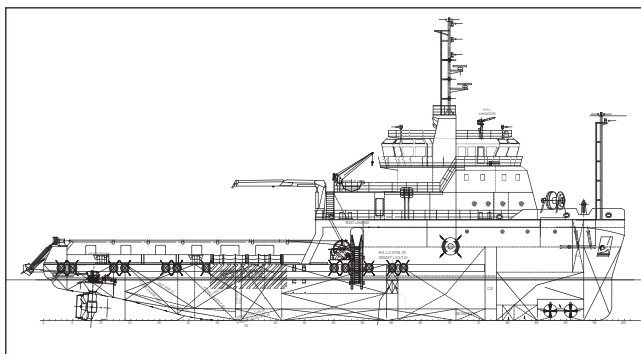
The SCHOTTEL Rudderpropeller is available as a hydraulically retractable system. In this case, the typical features of the SRP – such as the availability of the full input power throughout the 360° range of rotation for manoeuvring and dynamic positioning – are coupled with the additional advantageous capability of being retracted and lowered as required for open-water service, DP or varying water depths.



126 M MEGAYACHT OCTOPUS Manoeuvring aid: 2 x STT 330 TLK (350 kW each)
1 x SCHOTTEL Rudderpropeller Type SRP 330 ZSV (450 kW)

SRP WITH CONTROLLABLE-PITCH PROPELLER

The Rudderpropeller is available with CP (controllable pitch) and FP (fixed pitch) propellers. The pitch of CP propeller blades can be adapted to the respective operating conditions. Rudderpropellers with a controllable-pitch propeller are used, for example, when not only the propeller but also a fire-fighting pump or a generator are to be powered by the engine.



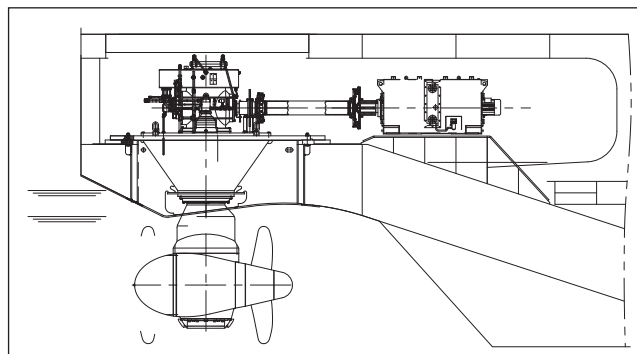
OSV BOURBON ATLAS

Main propulsion: 2 x SCHOTTEL Rudderpropeller Type SRP 1012 CP (1200 kW each)

SCHOTTEL FOR ICE OPERATION

For ships navigating in the ice regions of this world, SCHOTTEL supplies propulsion systems that are specially designed and built for ice-milling and ice-breaking duties. For ice-milling service, which is performed in astern mode, a PULL propeller is generally preferred.

The SCHOTTEL experts attach particular importance to structural reinforcements as well as to material selection and a high-strength protective coating. The entire range of propulsion systems is available in versions meeting ice class requirements. The propulsion unit is designed with the shaftline and steering system to comply with the respective class notation.



ICE BREAKING SUPPLY VESSEL MANGYSTAU-1

3 x SCHOTTEL Rudderpropeller Type SRP 2020 PULL (1600 kW each)

STEERING SYSTEMS – PRECISE AND USER-FRIENDLY

Propulsion systems are only as good as their steering. Optimally adapted data exchange between the different components (propulsion units and joystick or steering console) is therefore top priority. A further priority is a user interface that is as intuitive as possible, enabling safe manoeuvring even with frequent changes of master. Here too, SCHOTTEL steering systems set the course, both literally and figuratively.

In close cooperation, electronics engineers and propulsion specialists develop complete steering and control systems (SST) custom-tailored for every application. Our product range covers everything from simple, manually-operated wheels coupled directly to the propulsion unit, right up to the remote-controlled computerized joystick of the Masterstick system. A joystick is used to control up to ten propulsion units, steering the vessel in the given direction and with the desired rotation.

The different operating and control modes as well as many other options are selected via a steering console. The use of freely programmable microcontroller circuit boards with an integrated field bus and industry-standard interfaces provides a high degree of flexibility and operational reliability. Our systems give the ship's master the optimal "tool" for simple and safe navigation, manoeuvring and positioning of the vessel.



High-performance steering.



HEAVY LIFT JACK-UP VESSEL INNOVATION

4 x SCHOTTEL Rudderpropeller Type SRP 3030 (3500 kW each)
3 x STT 3030 (2800 kW each)



OIL PRODUCTS TANKER VF TANKER-16

2 x SCHOTTEL Rudderpropeller Type SRP 1012 (1200 kW each)
1 x STT 170 (230 kW)



64 T BP ASD TUG FAIRPLAY X

2 x SCHOTTEL Rudderpropeller Type SRP 1515 FP (1865 kW each)



SPLITBARGE ECOLOGICO PRIMERO

2 x SCHOTTEL Rudderpropeller Type SRP 330 (537 kW each)



110 T BP ASD TUG CORRADO NERI

2 x SCHOTTEL Rudderpropeller Type SRP 3030 CP (3060 kW each)



128 T BP OFFSHORE TUG LUZ DE MAR

2 x SCHOTTEL Rudderpropeller Type SRP 3040 CP (3840 kW each)



OFFSHORE SUPPLY VESSEL HOS RED DAWN

2 x SCHOTTEL Rudderpropeller Type SRP 2020 (2500 kW each)
2 x STT 4 (1180 kW each)



SEISMIC RESEARCH VESSEL WG COLUMBUS

2 x SCHOTTEL Rudderpropeller Type SRP 3030 CP (3000 kW each)

PROFESSIONAL PARTNERSHIP – THROUGHOUT THE VESSEL'S LIFE

As a SCHOTTEL customer, you benefit from individual, in-depth advice and support at all stages of a project, from planning and commissioning through to preventive maintenance.

A dense worldwide service network is ready to offer assistance and ensures the swift supply of spare parts – along with experienced SCHOTTEL technicians if required.

The name of SCHOTTEL traditionally stands for quality in engineering, with over 90 years of experience in design and the precision workmanship of a family-owned enterprise. Our innovative propulsion systems are a byword for reliability and high performance and set standards in global shipping.

YOU CAN FIND US HERE

SCHOTTEL GmbH
Mainzer Str. 99
D-56322 Spay / Rhein
Germany
Tel.: +49 (2628) 61 0
Fax: +49 (2628) 61 300
24 h Emergency Hotline
+49 (171) 47 29 154

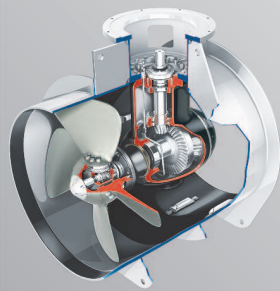
For further addresses: www.schottel.de

ANEXO III: Características de la hélice de proa.



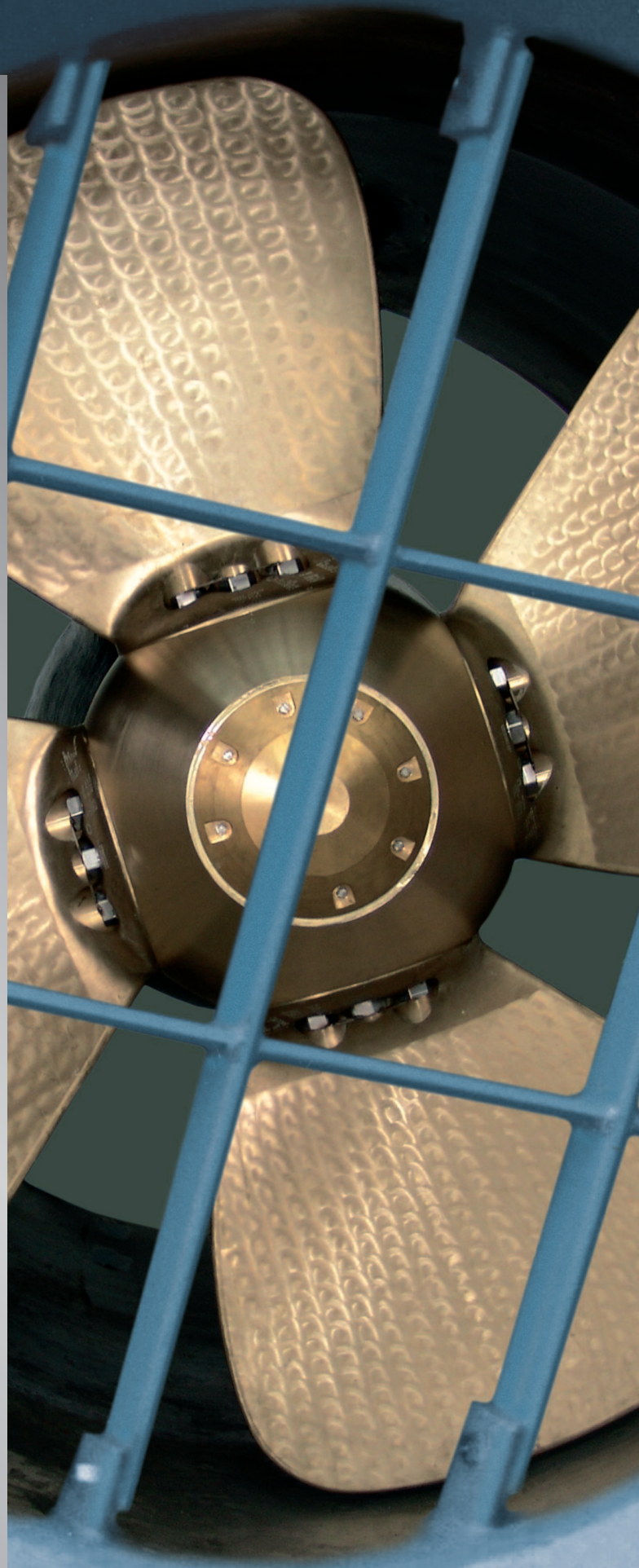
YOUR PROPULSION EXPERTS

TRANSVERSE THRUSTER INDISPENSABLE MANOEUVRING AID



STT · SCHOTTEL TRANSVERSE THRUSTER

SCHOTTEL Transverse Thrusters for manoeuvring and dynamic positioning.



INDISPENSABLE FOR MANOEUVRING AND DYNAMIC POSITIONING

Transverse thrusters are installed in the bow or stern in order to improve manoeuvrability of the ship. Depending on the type of vessel, the range of application for transverse thrusters extends from brief docking and undocking in ports with a limited number of operating hours every year up to continuous operation under extreme load conditions in demanding offshore applications with dynamic positioning.

INDIVIDUALLY TAILORED CONFIGURATION

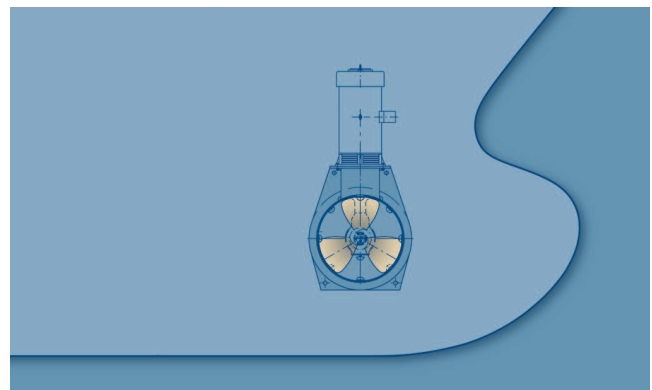
The transverse thrusters are individually configured by SCHOTTEL project engineers to suit the particular application. Light manoeuvring duties allow high specific thruster performance with the propeller running at a peripheral speed of up to 33 m/s. In tough offshore applications, the propellers operate at lower blade tip speeds.

CHOICE OF PRIME MOVERS

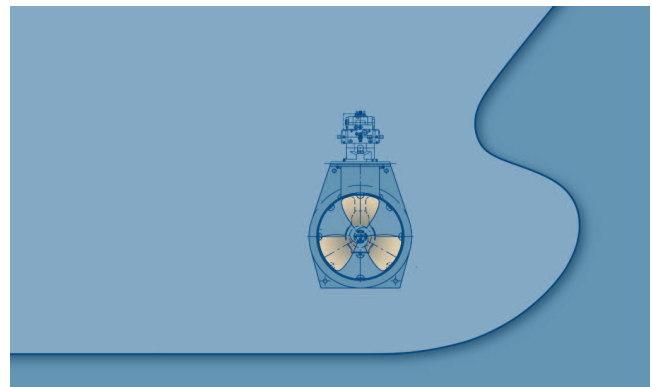
SCHOTTEL Transverse Thrusters can be powered by diesel engines, electric motors or hydraulic motors. Electric motors are included optionally in the scope of supply. The prime mover can be connected either horizontally or vertically and thus incorporated optimally into the naval architectural design.

When fixed-pitch propellers are used, electric and hydraulic motors allow the direction of thrust to be reversed. An additional reversing gearbox is required if the thruster is powered by a diesel engine.

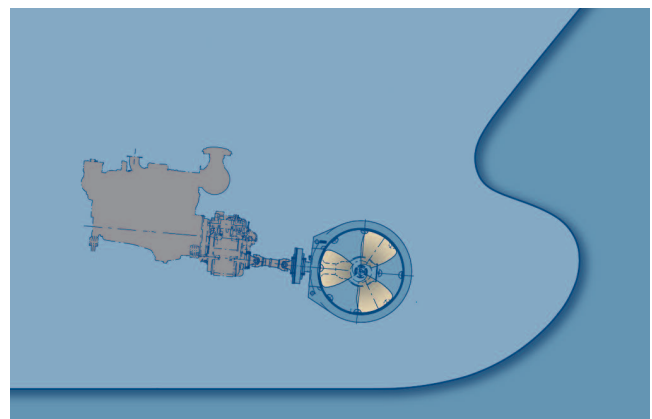
The transverse thruster types STT 1 to 8 are available with either fixed-pitch or controllable-pitch propellers. Thrusters with controllable-pitch propellers can be powered in the same way as those with fixed-pitch propellers – however it is not necessary to equip a diesel engine with a reversing gearbox in this case.



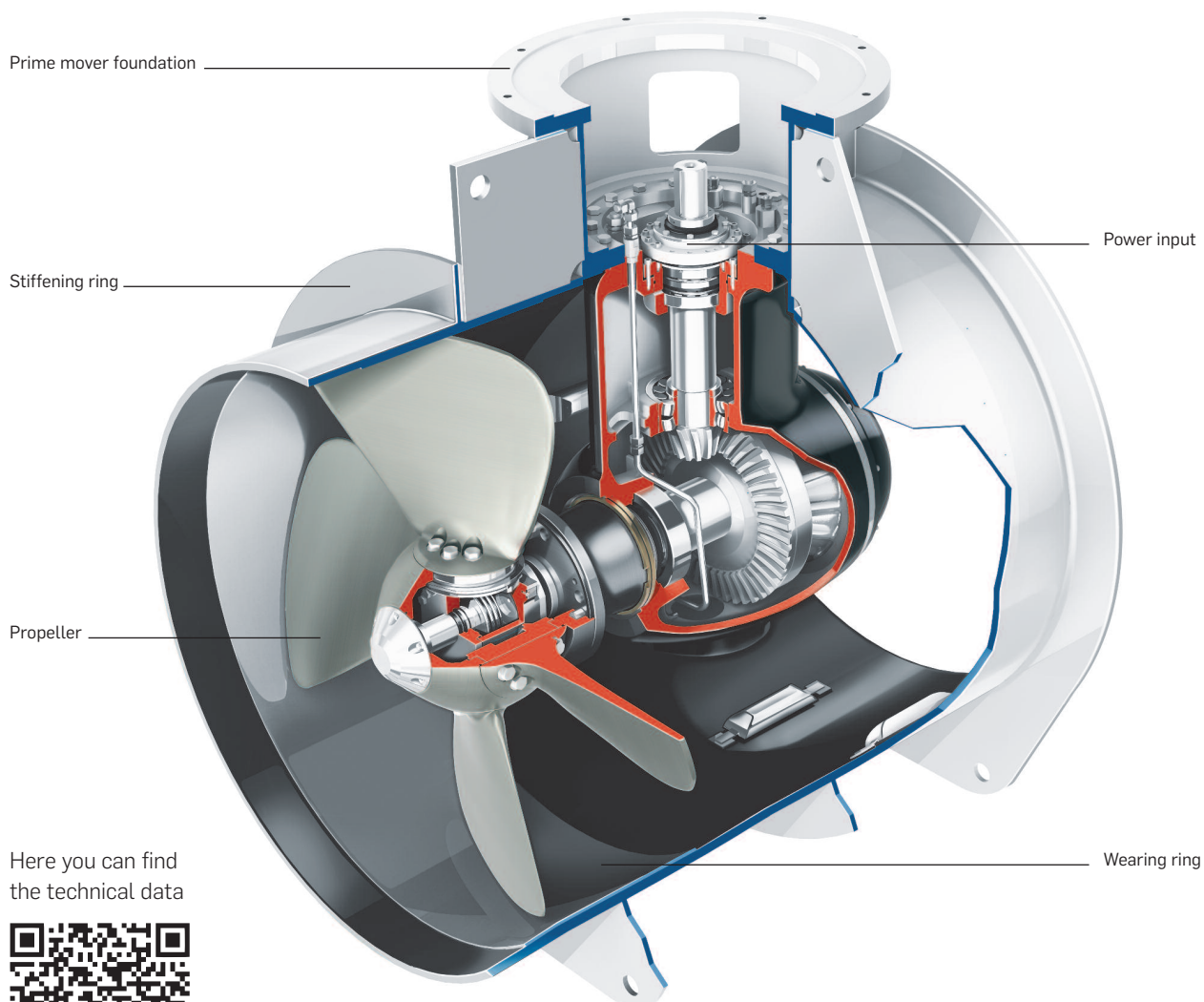
STT with electric motor



STT with hydraulic motor



STT with diesel engine



Here you can find
the technical data



OPTIMUM DESIGN FOR MORE THRUST

Thrust is the decisive criterion of a transverse thruster. SCHOTTEL therefore attaches great importance to an optimum propeller design that is individually adapted to the vessel geometry in each case.

At the same time, the propeller design takes into account any special requirements in terms of noise level that are relevant for the application.

A major parameter for the effectiveness of a transverse thruster is the size of the gap between the tunnel and the propeller, which SCHOTTEL has reduced to a minimum on all models.

ADVANTAGES

- For extreme load conditions, e.g. in the offshore sector
- For continuous and short-term service
- Low noise emission
- Available with either fixed or controllable-pitch propellers
- Compact design due to horizontal, vertical or inclined arrangement of the power input flange
- Combinable with diesel, hydraulic or electric drive

MAXIMUM RELIABILITY IN ALL APPLICATIONS

SCHOTTEL TRANSVERSE THRUSTERS IN YACHTS

Particularly for use in yachts, SCHOTTEL has systematically analysed the causes of noise, focusing on minimizing noise emission during operation of the transverse thruster.

SCHOTTEL has achieved this by using larger gear reductions to reduce the propeller blade tip speed to well below 30 m/s. At the same time, the number of blades has been increased to four, and the pressure pulses on the tunnel wall reduced by means of individual propeller design.

In addition to the mechanical system of the transverse thruster, SCHOTTEL optionally offers frequency-controlled drive motors. In this way, the motor speed and thus also the propeller speed can be variably adjusted.



MOTOR YACHT EXCELLENCE V

1 x SCHOTTEL Pump Jet Type SPJ 57 RD (185 kW)
1 x SCHOTTEL Transverse Thruster Type STT 110 (185 kW)

SCHOTTEL TRANSVERSE THRUSTERS IN MERCHANT SHIPS

In merchant ships, SCHOTTEL Transverse Thrusters are indispensable for short-term manoeuvring in harbours. Here, transverse thrusters with fixed pitch propellers are mainly used. With these systems, too, SCHOTTEL optionally offers electric drive motors.

In contrast to the frequency-controlled electric motors, the speed can be set here in 3 steps: (100 -85 -70 -0 -70 -85 -100 %).

The power range of SCHOTTEL Transverse Thrusters for this application lies between 100 kW and 1400 kW. The advantage of using 3-step electric motors lies in the simple design and ease of operation and maintenance. Furthermore, these systems represent a cost-effective alternative to frequency-controlled drive motors.



TANKER VF TANKER – 16

2 x SCHOTTEL Rudderpropeller Type SRP 1012 (1200 kW each)
1 x SCHOTTEL Transverse Thruster Type STT 170 (230 kW)

SCHOTTEL TRANSVERSE THRUSTERS IN THE HIGH POWER RANGE FOR OFFSHORE VESSELS

The toughest requirements made on transverse thrusters are found in offshore applications. Here, vessels are exposed to the full force of wind, waves and current. Dynamic positioning under these difficult conditions therefore requires particularly robust and powerful manoeuvring aids.

In order to meet the demanding requirements, these systems are equipped with ample reserves. The propeller blade tip speed and propeller load have been reduced to a minimum. This substantially increases the service life of the drive seals and bearings, and of the propeller hub and blades.

SCHOTTEL STT units can be equipped with a Leakage Control System (LeaCon) which is able to monitor potential leakages in the propeller shaft seal area according to classification requirements or operator demands.

The propulsion units can optionally be supplied with electric drive motors. The power range of these high-performance drives lies between 350 kW and 3000 kW.



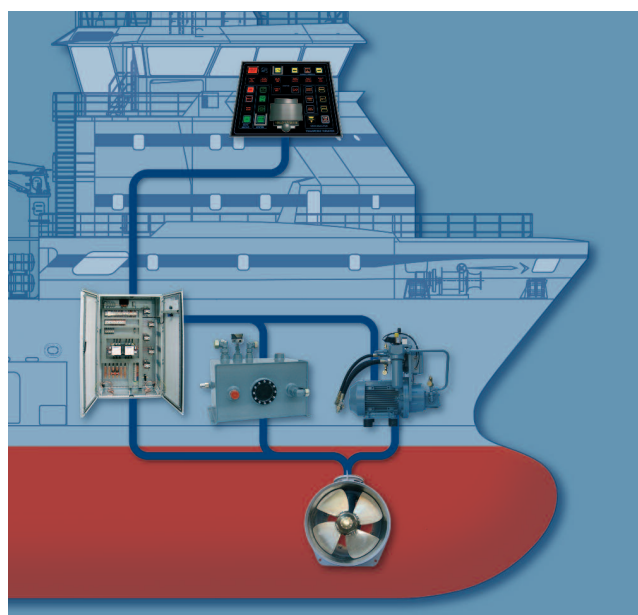
OSV HARVEY DEEP-SEA

2 x SCHOTTEL Rudderpropeller Type SRP 2020 (2500 kW each)
3 x SCHOTTEL Transverse Thruster Type STT 4 FP (1180 kW each)

STEERING SYSTEM

Propulsion systems are only as good as their steering. Optimally adapted data exchange between the different components, together with a user interface that has been made as intuitive as possible, ensures simple operation – even with frequent changes of master.

The electric steering system for the propeller pitch control of the drives can be integrated into a range of shipboard electric power systems. Diverse interfaces, such as DP, joystick and VDR interfaces, are integrated into the control cabinets, thereby fulfilling the requirements of fleet operators in the offshore sector.



SCHOTTEL TRANSVERSE THRUSTER WITH SCHOTTEL STEERING SYSTEM

Complete systems from a single source

RELIABILITY AND HIGHEST QUALITY ARE OUR TOP PRIORITY

To ensure the best possible protection of the gearbox housing, the SCHOTTEL Transverse Thruster is sand-blasted and the underwater housing is provided with an abrasion-resistant coating (Ceramic S-Metal). This coating gives extremely high resistance to erosion and cavitation, and offers excellent protection against abrasion and electrolytic corrosion.

Stiffening rings around the tunnel and appropriately thick tunnel material minimize distortion during welding into the hull. Preparations for the weld seams at the ends of the tunnel simplify installation by the shipyard.

All SCHOTTEL Transverse Thrusters are fitted with a durable stainless steel wearing ring in the path of the propeller. This additional equipment reduces the wear on the tunnel and increases the service life of the transverse thruster. Another positive side-effect: the use of the wearing ring achieves an additional thickening of the tunnel in the area of the propeller. This decreases the amount of vibration and noise.

MODERN MANUFACTURING – EFFICIENT PROCESSES

For SCHOTTEL, the customer is at the centre of our activities. All our corporate processes are geared towards responding quickly and flexibly to our customers' requirements.

That is why SCHOTTEL attaches great importance to keeping a large portion of our manufacturing in-house. This not only saves time and simplifies our business processes, but also safeguards our know-how and ensures consistently high quality.

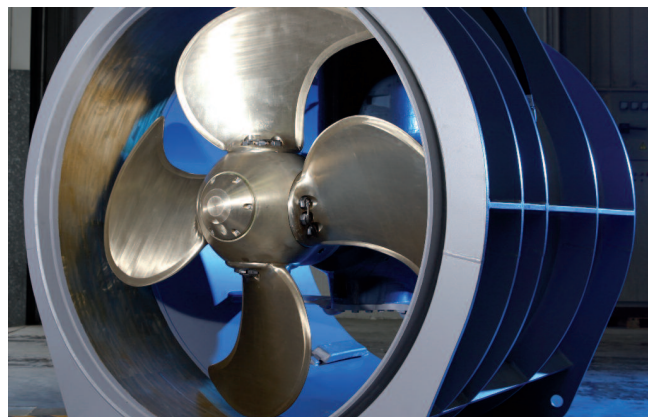
State-of-the-art manufacturing facilities are indispensable prerequisites for top quality. The machines and systems used at SCHOTTEL's German production plants in Spay and Wismar and at our Chinese subsidiary in Suzhou operate with outstanding precision and make a major contribution to the constant high quality of our products. Exhaustive trial runs on the test bed ensure that only first-class products leave the SCHOTTEL works.



State-of-the-art production facilities, ...



... with a high proportion of in-house manufacturing, ...



... means consistently high quality and flexibility in meeting our customers' requirements.



HEAVY LIFT JACK-UP VESSEL INNOVATION

4 x SCHOTTEL Rudderpropeller Type SRP 3030 (3500 kW each)
3 x SCHOTTEL Transverse Thruster Type STT 8 (2800 kW each)



TRAINING VESSEL HANSE EXPLORER

1 x SCHOTTEL Transverse Thruster Type STT 170 LK (300 kW)



MULTIFUNCTIONAL HEAVY LIFT TRANSPORT VESSEL ROLLDOCK STAR

2 x SCHOTTEL Controllable Pitch Propeller Type SCP 109/4-XSG (4500 kW each)
1 x SCHOTTEL Transverse Thruster Type STT 4 (1200 kW)



RESEARCH VESSEL PLANET

4 x SCHOTTEL Transverse Thruster Type STT 170 LK (350 kW each)



AHTS MEGA BAKTI

2 x SCHOTTEL Transverse Thruster Type STT 4 CP (880 kW each)
2 x SCHOTTEL Transverse Thruster Type STT 3 CP (680 kW each)



FISV NZINGA M BANDI

2 x SCHOTTEL Controllable Pitch Propeller Type SCP 060/4-XG (2320 kW each)
1 x SCHOTTEL Transverse Thruster Type STT 110 (150 kW)



65 T BP ASD TUG SVITZER GAIA

2 x SCHOTTEL Combi Drive Type SCD 1515 (2100 kW each)
1 x SCHOTTEL Transverse Thruster Type STT 110 (190 kW)



IMR VESSEL UNGUNDJA

3 x SRP 1215 (1686 kW each) 1 x SRP 550 ZSV (760 kW)
2 x SCHOTTEL Transverse Thruster Type STT 4 (843 kW each)

PROFESSIONAL PARTNERSHIP – THROUGHOUT THE VESSEL'S LIFE

As a SCHOTTEL customer, you benefit from individual, in-depth advice and support at all stages of a project, from planning and commissioning through to preventive maintenance.

A dense worldwide service network is ready to offer assistance and ensures the swift supply of spare parts – along with experienced SCHOTTEL technicians if required.

The name of SCHOTTEL traditionally stands for quality in engineering, with over 90 years of experience in design and the precision workmanship of a family-owned enterprise. Our innovative propulsion systems are a byword for reliability and high performance and set standards in global shipping.

YOU CAN FIND US HERE

SCHOTTEL GmbH
Mainzer Str. 99
D-56322 Spay / Rhein
Germany
Tel.: +49 (2628) 61 0
Fax: +49 (2628) 61 300
24 h Emergency Hotline
+49 (171) 47 29 154

For further addresses: www.schottel.de