



Escola Politécnica  
Superior de Ferrol

# CUADERNO 6: PREDICCIÓN DE POTENCIA

FAST FERRY CATAMARÁN 950 PAX Y 250 COCHES

Trabajo de fin de grado 14-03

Escuela politécnica superior - Universidade da coruña.



Escola Politécnica Superior



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Carlos Fernández Baldomir

c.faldomir@udc.es baldomirr@gmail.com (+34)618477004

RPA:



**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA**

**ANTEPROYECTO Y PROYECTO FIN DE CARRERA**

*CURSO 2.013-2014*

**PROYECTO NÚMERO 14-03**

**TIPO DE BUQUE:** Fast-Ferry catamarán de 950 pax. y 250 vehículos.

**CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN:** DNV, MARPOL, COLREG, ILO, CODIGO DE BUQUES DE ALTA VELOCIDAD.

**CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA:** 950 pasajeros y 250 vehículos.

**VELOCIDAD Y AUTONOMÍA:** 38kn al 100% MCR y 10% Margen de mar.

**SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA:** 2 rampas para vehículos a popa.

**PROPULSIÓN:** 4 Waterjets, planta propulsora dual LNG-DIESEL.

**TRIPULACIÓN Y PASAJE:** 30 tripulantes, 950 pasajeros.

**OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES:** Dos propulsores de proa (uno en cada casco).

Ferrol, Febrero de 2.014

ALUMNO: D Carlos Fernández Baldomir.

## Contenido

RPA:.....	1
Introducción .....	3
Propulsión waterjet .....	4
LNG en buques.....	6
El LNG.....	6
Motor dual LNG-Diésel .....	7
Cálculo de la resistencia al avance .....	9
Selección del propulsor .....	14
Cálculo de la potencia propulsora .....	16
Selección de los motores.....	19
Predicción de potencia para navegar a 38kn .....	23
Análisis de los resultados y conclusiones .....	25
Velocidad a calado de máxima carga .....	26
Anexos .....	27
Anexo 1: Tablas de resistencia al avance. ....	27
Anexo 2: Tablas de potencia propulsora. ....	28
Anexo 3: Tablas de potencia en condición de carga para navegar a 38kn. ....	29
Anexo 4: Información de los waterjets. ....	30
Anexo 5: Información del motor propulsor.....	31

## Introducción

En este cuaderno se va a realizar una predicción de potencia para que el buque navegue a su velocidad de servicio de 38 nudos y la selección de propulsores y motores principales del buque.

Se parte de los datos obtenidos del cuaderno 3 (diseño de las formas):

B(m)	26,3
Lpp (m)	83,16
Loa (m)	92,4
Bcasco (m)	5,5
T (m)	4
D (m)	7,65
BHP (Kw)	36213
CB	0,6
CM	0,909
CP	0,68
$\Delta$ (t)	2288
Fn	0,66
Autonomía (millas)	1200
Peso en Rosca (t)	1352
Superficie mojada (m <sup>2</sup> )	1669,188
Area de la maestra (m <sup>2</sup> )	39,439
Area de la flotacion (m <sup>2</sup> )	652,702

Antes de comenzar los cálculos se hará una breve introducción al uso de waterjets y las ventajas que ofrecen en este tipo de buques y al uso de LNG en buques.

### Propulsión waterjet

El hecho de que el buque proyecto se trate de un catamarán de alta velocidad hace recomendable la instalación de waterjets en lugar de hélices convencionales.

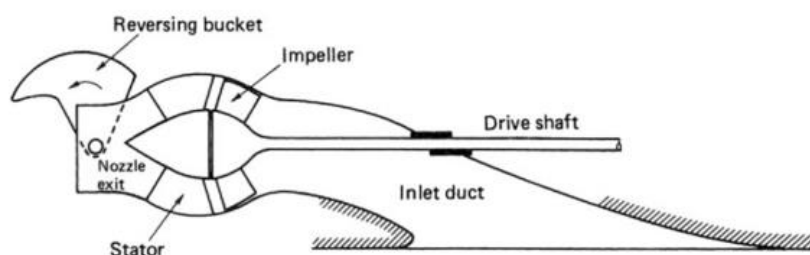
En la actualidad, la mayoría de los buques de gran velocidad cuentan con propulsión waterjet debido a las múltiples ventajas que ofrecen:

- Aportan gran maniobrabilidad: los waterjets cuentan con un sistema de inversores de flujo y con una tobera direccionable capaz de modificar la dirección del chorro de agua.
- No necesitan apéndices: no es necesario la utilización de timones, por lo que se reduce la resistencia al avance.
- El nivel de vibraciones y de ruidos es menor que en un propulsor convencional: la estela incidente en el waterjet es más regular ya que el flujo no es afectado por la forma del codaste.
- El espacio de instalación es reducido: a igualdad de potencia un propulsor waterjet necesita menos diámetro que una hélice convencional.
- La velocidad de aparición de cavitación en el propulsor es mayor: puede trabajar a mayor régimen de revoluciones sin riesgo de cavitación.
- El propulsor va protegido: va instalado en el interior de un conducto y en la tma de agua hay una rejilla.
- Solo la entrada de agua debe de estar sumergida: la tobera no es necesario que esté a una determinada profundidad para poder operar.

También presentan ciertas desventajas que se deben considerar:

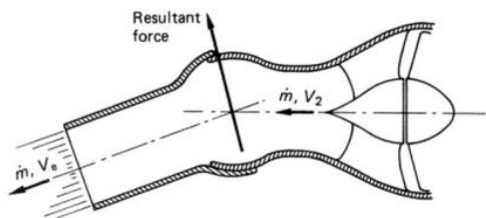
- A bajas velocidades suele ser menos eficiente.
- Es más costoso de instalar y mantener, ya que es un sistema más complejo que un propulsor convencional.
- Mayor peso en el buque debido al agua que circula por el propulsor.
- Presenta pérdidas por fricción en la admisión y tobera.
- Puede taponarse la admisión con residuos.

El principio básico de funcionamiento de un waterjet se basa en aumentar la cantidad de movimiento del flujo saliente, creando un empuje que usará el buque para avanzar. Esto se consigue acelerando una masa de agua aspirada dentro del conducto mediante un impulsor.

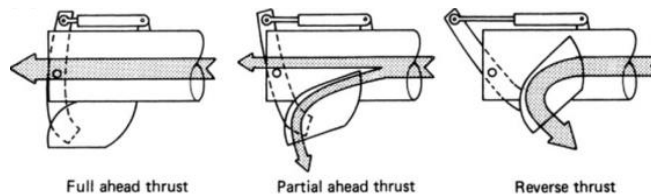


Un propulsor waterjet está construido por varias partes que procederemos a describir brevemente:

- Conducto de entrada o “inlet duct”: es el conducto por el que se aspira agua del exterior del casco para dirigirla al propulsor. Habitualmente cuenta con una rejilla que protege al propulsor del medio.
- Propulsor: es el elemento que se encarga de aumentar la velocidad del flujo. Está compuesto por un elemento fijo, el estator, y un elemento móvil, el rotor. El rotor recibe potencia del motor mediante un eje y suele estar compuesto de entre 4 y 8 palas. El estator cumple una doble función: enderezar la salida del flujo del rotor y sostener estructuralmente al propulsor. Este cuenta con un número de palas de entre 7 y 13.
- Tobera: situada a la salida del waterjet se encarga de acelerar y dirigir el chorro, ya que es un elemento direccionable. De esta forma el buque puede maniobrar sin necesidad de timón.



- Inversor de flujo: es una pieza de accionamiento mecánico o hidráulico capaz de invertir el flujo para permitir decelerar al buque y maniobrar en sentido inverso al habitual.



## LNG en buques

Con el objetivo de proporcionar una navegación más sostenible con el medio ambiente se ha decidido dotar al buque proyecto de una propulsión dual LNG. Actualmente no existe ningún catamarán construido con este tipo de tecnología: en la base de datos tenemos información del buquebus Francisco, que es un buque propulsado íntegramente por LNG mediante turbinas de gas, pero sin opción de operar con combustible líquido. El astillero australiano Incat ha planeado la construcción de varios buques con propulsión dual y la naviera Balearia tiene previsto reconvertir dos catamaranes de su flota a este tipo de tecnología.

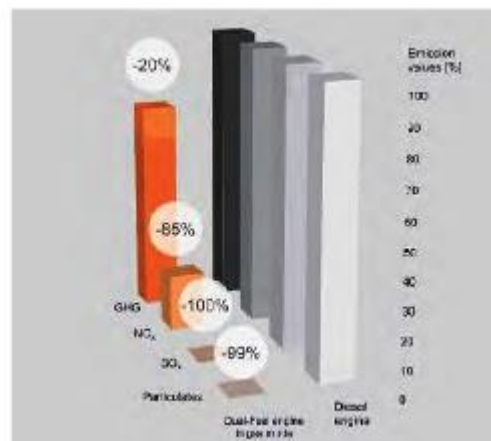
Debido a esto en este apartado del proyecto se va a definir brevemente las características del LNG como combustible en buques y se va a comentar el modo de operación de los motores duales.

## El LNG

El gas natural licuado (LNG) es una mezcla de gases ligeros compuesta principalmente por metano (alrededor del 90% o 95%), nitrógeno y helio (en proporciones muy pequeñas). Se procesa manteniendo la presión atmosférica y bajando la temperatura hasta 162°C bajo cero, que es su punto de saturación. Tras el procesado el volumen del gas se reduce hasta 600 veces.

El LNG tiene menor impacto medioambiental que el diésel o el fuel-oil ya que reduce las emisiones de CO<sub>2</sub>, óxidos de nitrógeno y compuestos derivados del azufre.

- 25-30% menos CO<sub>2</sub>
  - Baja relación carbón / hidrógeno
- 85% menos NO<sub>x</sub>
  - Concepto Lean Burn de Wärtsilä (alta relación aire-LNG)
- No hay emisiones de SO<sub>x</sub>
  - Se elimina el azufre durante la licuefacción del gas natural
- Muy baja emisión de partículas
- No hay humos visibles
- No hay depósitos de lodos



Las principales ventajas del uso de LNG en buques son las siguientes:

- Es menos contaminante: reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> alrededor de un 30% respecto al fuel-oil.
- Es más barato: a pesar de que la instalación de la planta propulsora por LNG supone una inversión inicial mayor, el consumo del LNG y su coste es menor que el del resto de combustibles fósiles.
- Permite navegar por zonas de emisión controlada de gases (ECA): actualmente existen zonas como las costas de los EEUU y el mar báltico que exigen que las emisiones de azufre de los buques a la atmósfera tienen que ser menores al 0,1%.

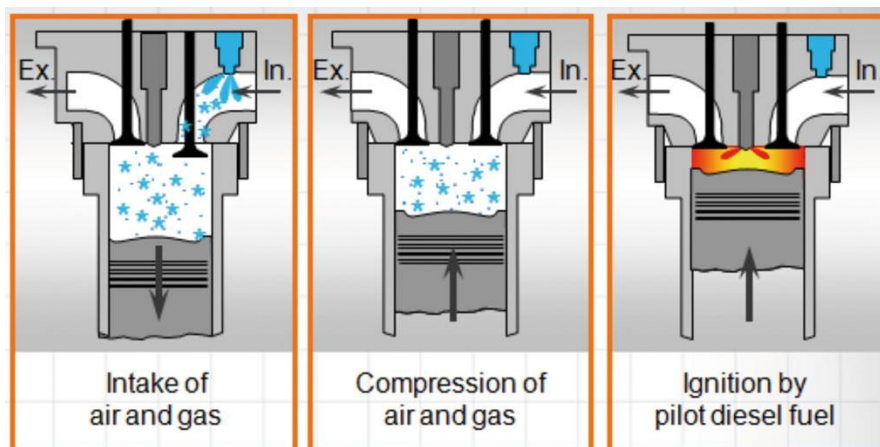
### Motor dual LNG-Diésel

Existen motores que pueden operar únicamente con LNG o motores de uso dual que combinan combustible líquido y LNG. En este proyecto se ha optado por una planta propulsora dual, de forma que se pueda combinar el uso de LNG y de diésel en una misma navegación con el objetivo de dar versatilidad al buque al no depender únicamente de un tipo de combustible.

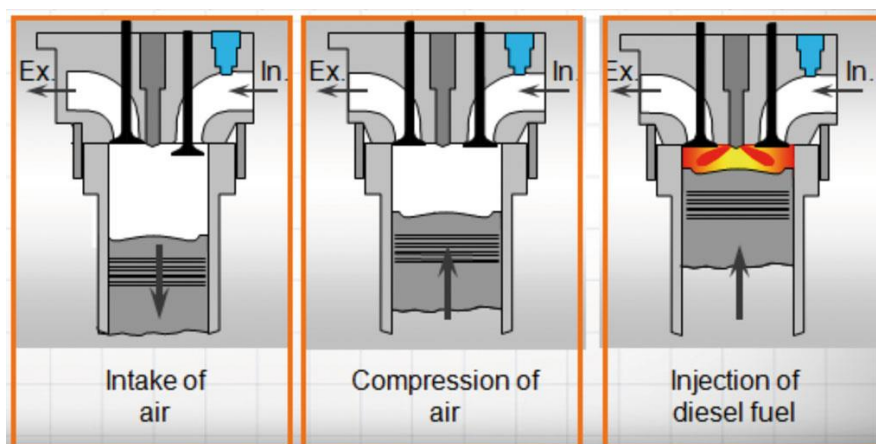
Cada vez más fabricantes cuentan con una gama de motores duales diésel LNG, como Rolls-Royce, Wärtsilä, Caterpillar o Man, a pesar de que la oferta disponible actualmente es mucho menor que la que nos podemos encontrar respecto a motores de combustible líquido. Estos motores son, normalmente, motores de media velocidad (entre 500 y 750 rpm).

Los motores dual fuel pueden cambiar de modo de operación con combustible líquido a LNG y viceversa manteniendo en todo momento la potencia, es decir, no es necesario parar la máquina ni realizar cambios físicos en ella para cambiar de tipo de combustible.

Para operar en modo LNG, el gas a baja presión se mezcla con aire y la mezcla LNG-Aire se enciende mediante la inyección de una pequeña cantidad de diésel:



En cuanto al funcionamiento con combustible líquido, el motor opera como un motor diésel convencional:





En los motores dual fuel existe un mecanismo de seguridad que implica que si se interrumpe el suministro de LNG el motor pase automáticamente a funcionar con diésel sin cesar su operación.

Muchos motores dual fuel permiten trabajar también con todo tipo de combustible líquido y no únicamente con gasóleo (diésel), sino que también funcionan con fuel oil.

## Cálculo de la resistencia al avance

Para calcular la resistencia al avance vamos a utilizar el programa NavCad 2012. El objetivo de este apartado es saber que fuerza debe de vencer el buque para navegar en condiciones de diseño.

A partir de los datos de empuje necesario que se obtengan en este apartado, se van a definir los propulsores y los motores en el apartado "Calculo del propulsor".

Para ello, en el módulo de resistencia se comienzan definiendo las condiciones:

- Se va a usar la ITTC-78 por que el buque no está diseñado como buque de planeo.
- Se indica que es un buque catamarán. A partir de ahora todos los datos que se introducirán al programa serán por semicasco.
- El tipo de formas las establecemos como "Round/multiple" porque el casco del buque diseñado en el cuaderno 3 no presenta codillos.
- Se introduce la eslora entre perpendiculares, de 83,16 metros.
- El desplazamiento requerido por el programa es el de tan solo uno de los cascos, así que se divide el desplazamiento total (2288t) entre 2, obteniéndose 1144t por casco.
- Se selecciona el tipo de propulsor como waterjet. El programa pide los datos por semicasco, así que se indica que hay 2 propulsores por cada semicasco (4 en total).
- Se establece que el buque va a navegar en agua salada, ya que el buque proyecto está diseñado para navegar en el mar.
- Se introduce un rango de 10 velocidades entre 1 y 40 Kn para estudiar la curva de resistencia al avance en función de estas. Las velocidades introducidas son de 1, 10, 20, 30, 35, 36, 37, 38, 39 y 40 nudos, porque lo que más interesa estudiar es la zona cercana a la velocidad de servicio.
- La velocidad de servicio viene dada por la RPA y es de 38 kn

Project		
Project ID:	Proyecto 14-03 res...	
Description:	Cálculo de la resis...	
Summary		
Scope:	ITTC-78 (CT)	▼
Configuration:	Catamaran	▼
Chine type:	Round/multiple	▼
Length on WL:	83,160	m
Displacement:	1144,00	t
Propulsor type:	Waterjet	▼
Count:	2	▼
Water properties		
Water type:	Salt	▼
Density:	1026,00	kg/m <sup>3</sup>
Viscosity:	1,18920e-6	m <sup>2</sup> /s
Speeds		
Speed [01]	1,00	kt
Speed [02]	10,00	kt
Speed [03]	20,00	kt
Speed [04]	30,00	kt
Speed [05]	35,00	kt
Speed [06]	36,00	kt
Speed [07]	37,00	kt
Speed [08]	38,00	kt
Speed [09]	39,00	kt
Speed [10]	40,00	kt
Design condition		
Design speed:	38,00	kt

A continuación se definen las formas del casco del buque. Se obtienen de la tabla de hidrostáticas calculada en el cuaderno 3.

- La manga máxima en la flotación es la manga de cada uno de los cascos, es decir, 5,5 metros.
- La superficie mojada total viene calculada en las tablas obtenidas en el cuaderno 3. Para obtenerla en cada casco sólo hay que dividirla entre dos, así que calculan 834,6 metros cuadrados por cada casco.
- La separación de los cascos es la distancia entre los planos de crujía de cada uno de los cascos. En el buque es de 20,8 metros.
- Los centros de empuje y flotación, así como el área de la sección de la maestra y el área en la flotación se sacan del cuaderno 3.
- El buque no lleva bulbo, así que se dejan todos los parámetros respectivos a este en 0.
- Las dimensiones del espejo se calculan mediante el modelo 3D que se ha generado en Rhinoceros.

Edit: Hull		
<b>Hull</b>	(per demi-hull)	
Configuration:	Catamaran	
Chine type:	Round/multiple	
<b>General</b>	(per demi-hull)	
Length on WL:	83,160	m
Max beam on WL:	5,500	m
Max molded draft:	4,000	m
Displacement:	1144,00	t
Wetted surface:	834,6	m <sup>2</sup>
Demi-hull spacing:	20,800	m
<b>ITTC-78 (CT)</b>	(per demi-hull)	
LCB fwd TR:	31,675	m
LCF fwd TR:	31,890	m
Max section area:	20,0	m <sup>2</sup>
Waterplane area:	320,6	m <sup>2</sup>
Bulb section area:	0,0	m <sup>2</sup>
Bulb ctr below WL:	0,000	m
Bulb nose fwd TR:	0,000	m
Transom area:	14,9	m <sup>2</sup>
Transom beam WL:	4,955	m
Transom immersion:	3,270	m
Half entrance angle:	3,73	deg
Bow shape factor:	0,0	[AVG flow]
Stern shape factor:	1,0	[WL flow]
<b>Planing</b>	(per demi-hull)	
Proj chine length:		m
Proj bottom area:		m <sup>2</sup>
LCG fwd TR:		m
VCG below WL:		m
Aft station (fwd TR):		m
Deadrise:		deg
Chine beam:		m

Las RPA consideran un 10% de margen de mar:

Edit: Margin		
<b>Margin</b>		
Design margin:	10	%
Basis:	Hull + added dr...	

Para hacer el cálculo de la resistencia al avance se usa el método Fung (HSTS) ya que es uno de los métodos que cumplen con la mayor cantidad de condiciones posibles.

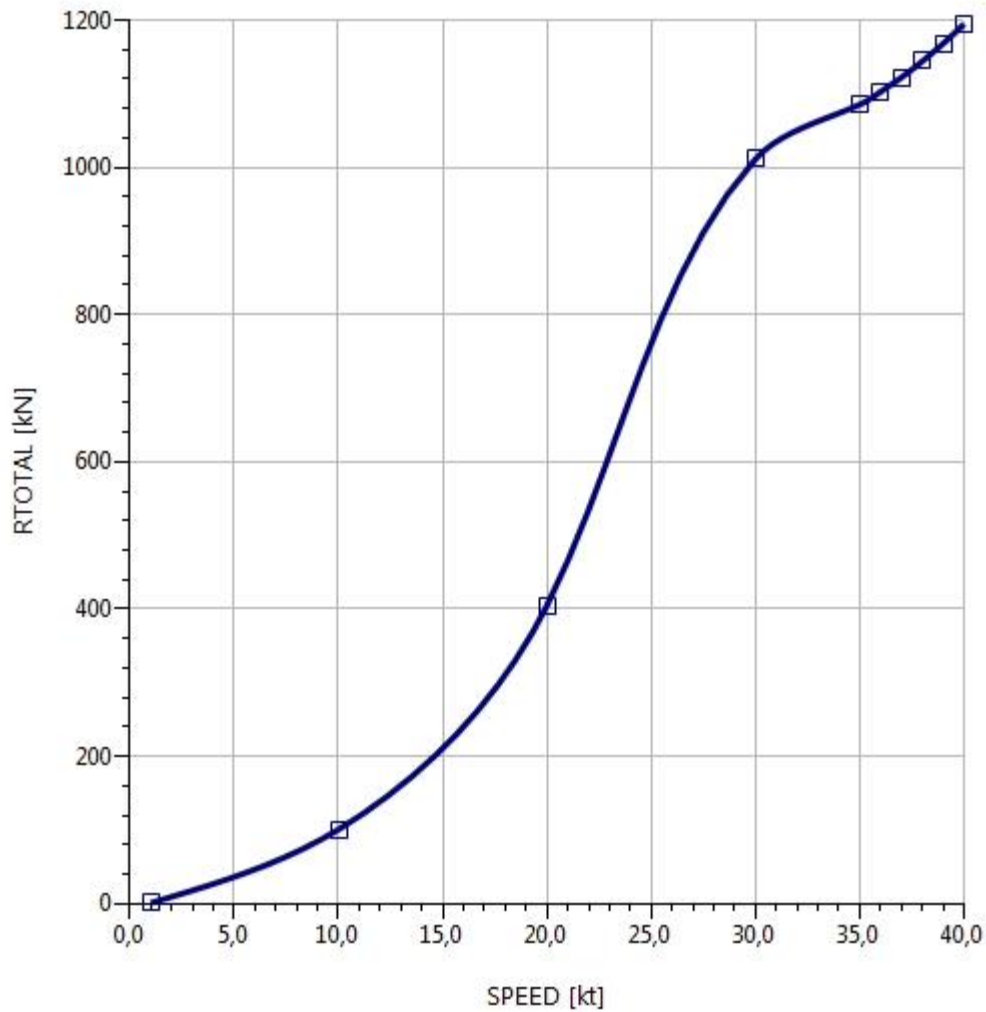
Se descartan “DeGroot” y “Simple planning” porque no se trata de un buque de planeo y estos métodos exigían un casco con formas en codillo, diseñado para planeo.

Mode: Resistance		
<b>Vessel drag</b>	Calc	ITTC-78 (CT)
Technique:		Prediction
Prediction:		Fung (HSTS)
Reference ship:		
Model LWL:	[m]	
<b>Viscous</b>		
Expansion:		Standard
Friction line:		ITTC-57
Hull form factor:	On	1,134
Speed corr:	Off	
Spray drag corr:	Off	
Corr allowance:		ITTC-78 (v2008)
Roughness [mm]:	On	0
<b>Catamaran</b>		
Interference:	On	
<b>Added drag</b>		
Appendage:	Off	
Wind:	Off	
Seas:	Off	
Shallow/channel:	Off	
Margin:	Calc	Hull + added drag [10...

Type	Task
<input type="checkbox"/>	Right-click to add a task...

Una vez calculado, se saca esta gráfica de resistencia al avance:



SPEED [kt]	RESISTANCE AND EFFECTIVE POWER								
	RBARE [kN]	RAPP [kN]	RWIND [kN]	RSEAS [kN]	RCHAN [kN]	RMARGIN [kN]	RTOTAL [kN]	PEBARE [kW]	PETOTAL [kW]
1,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,88	0,4	0,5
10,00	91,50	0,00	0,00	0,00	0,00	9,15	100,65	470,7	517,8
20,00	368,37	0,00	0,00	0,00	0,00	36,84	405,21	3790,2	4169,2
30,00	919,58	0,00	0,00	0,00	0,00	91,96	1011,53	14192,1	15611,4
35,00	986,77	0,00	0,00	0,00	0,00	98,68	1085,45	17767,4	19544,1
36,00	1002,53	0,00	0,00	0,00	0,00	100,25	1102,78	18566,8	20423,5
37,00	1020,37	0,00	0,00	0,00	0,00	102,04	1122,40	19422,1	21364,3
+ 38,00 +	1040,31	0,00	0,00	0,00	0,00	104,03	1144,34	20336,9	22370,6
39,00	1062,28	0,00	0,00	0,00	0,00	106,23	1168,51	21312,9	23444,2
40,00	1086,16	0,00	0,00	0,00	0,00	108,62	1194,77	22350,7	24585,7

Se obtiene una resistencia al avance total a 38 nudos de:

$$1144,34 \text{ kN}$$

Y una potencia efectiva de:

$$22370,6 \text{ kW}.$$

Se adjuntan los datos totales del report de resistencia en los anexos.

## Selección del propulsor

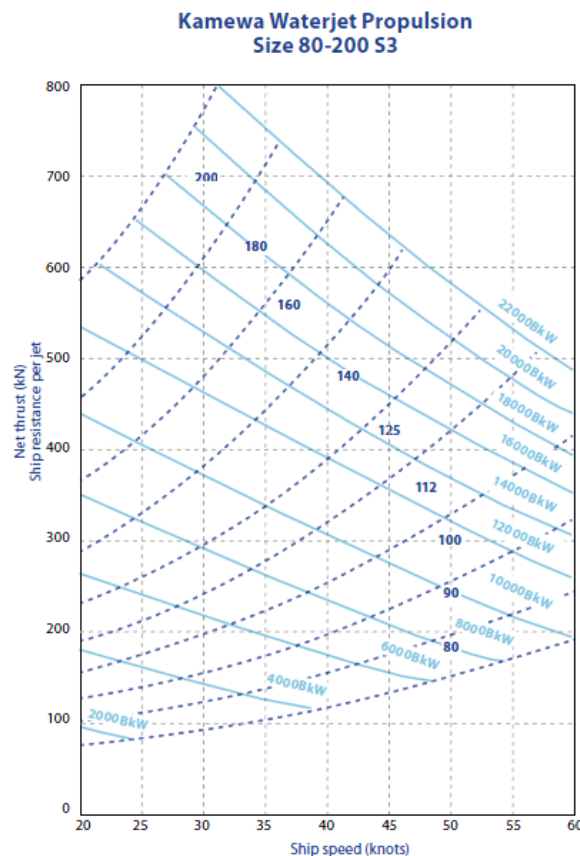
Para seleccionar los propulsores waterjet es necesario contar con una tabla de datos que relaciona los empujes con las velocidades de entrada de agua en el propulsor para distintas potencias en distintos modelos de Waterjet.

Consultando a los fabricantes (Rolls Royce, Wartsila y Marine Jet Power) se han podido obtener dichas tablas para los modelos Rolls Royce Kamewa.

Entrando en las tablas de datos y en las gráficas se elige el waterjet Rolls-Royce Kamewa S3 con el empuje obtenido en el apartado anterior para cada waterjet:

$$\frac{1144,34}{4} = 286,085 \text{ kN por waterjet}$$

Se entra en la gráfica:

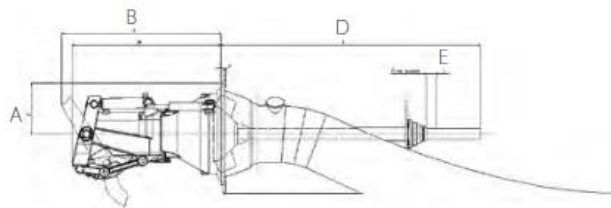


Para 38 nudos de velocidad y 286 kN de empuje se puede usar el modelo S3-112.

La ficha de los waterjets se adjunta en los anexos.

Technical data

Waterjet	Dimensions (mm)				Power range (kW)**	Weight (kg)		
	A	B	D (typical)	E (typical)		Steerable	Booster	EW**
S3-45	410	1318	2450	100	800 - 1790	725	453	577
S3-50	500	1455	2110	100	1000 - 2580	1004	600	750
S3-56	550	1630	2310	100	1200 - 3440	1385	865	1040
S3-63	600	1782	2510	100	1400 - 4300	1882	1172	1490
S3-71	650	2005	2600	100	1500 - 5100	2550	1596	2130
S3-80	700	2269	2800	100	1800 - 6500	3565	2180	3050
S3-90	800	2527	3180	100	2000 - 8500	4820	2940	4340
S3-100	900	2785	3560	100	2500 - 10000	6090	3700	5950
S3-112	1000	3119	3910	100	4000 - 12500	8360	5240	8370



Una vez seleccionado el modelo de waterjet se van a introducir los datos en NavCad.

Para ello se meten los datos de las gráficas para distintas potencias el modelo S3-112:

**Waterjet data**

Properties		
Description:	RR K S3-112	
Import file:	C:\Users\Carlos\...	
Units		
Prop length:	[0.0]	mm
Speed:	[0.00]	kt
Force:	[0.00]	kN
Power:	[0.0]	kW
Parameters		
Max (rated) power:	12000,0	kW
Max (rated) RPM:	750	
Impeller definition:	Defined	
Impeller diameter:	1800,0	mm
Shaft angle to BL:	0,00	deg
Shaft height at TR:	2000	mm
Impeller options		
Speed correction:	Off	

	A		B		C		D
Power:	12000,0		10000,0		8000,0		Power:
Speed	Thrust	Speed	Thrust	Speed	Thrust	Speed	
1	40,00	387,00	35,00	336,68	30,00	288,69	25,00
2	45,00	352,00	40,00	303,75	35,00	260,53	30,00
3			45,00	271,64	40,00	231,01	35,00
4					45,00	204,60	40,00
5							45,00
6							
7							
8							
9							
10							

New Import Export OK Cancel Help



## Cálculo de la potencia propulsora

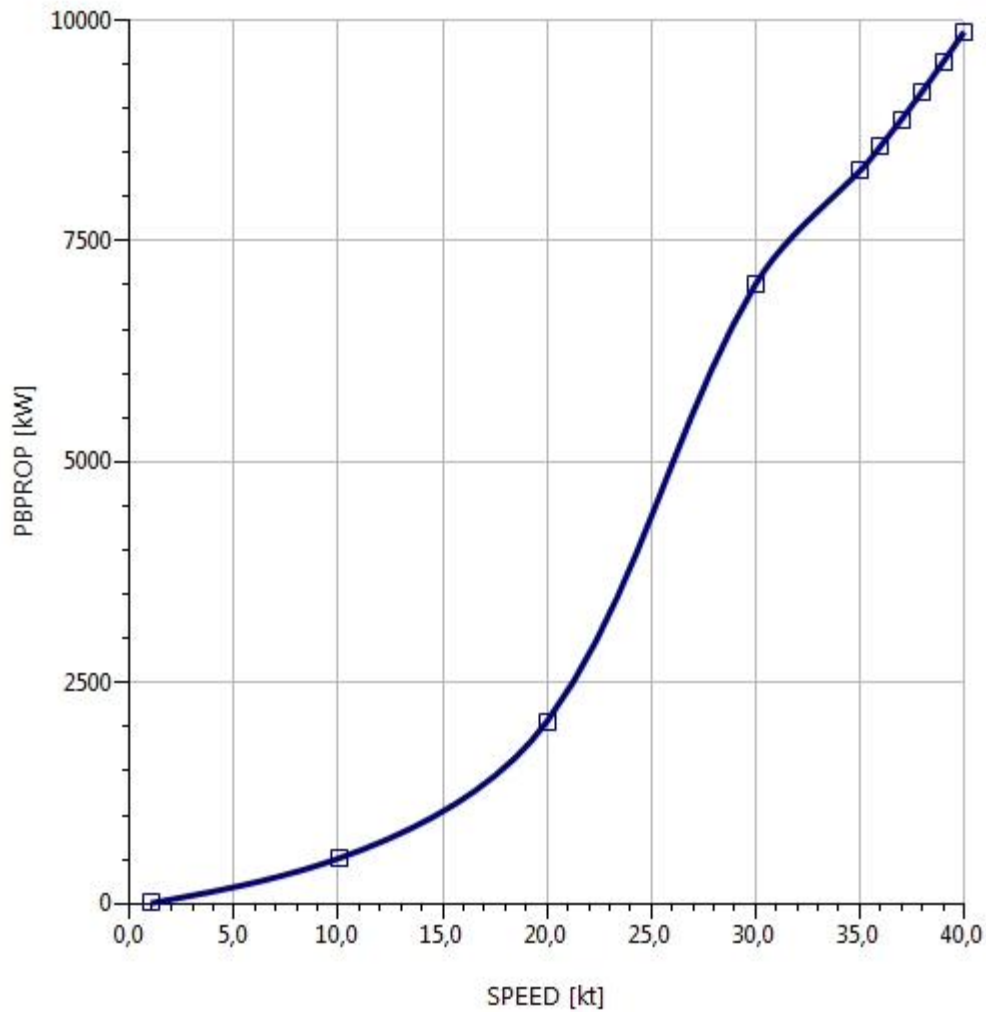
Una vez se han introducido los datos del waterjet se define el propulsor. Se supone que el propulsor va directamente acoplado al motor.

CAMBIAR FOTO

Edit: Propulsor		
<b>Propulsor</b>	(per demi-hull)	
Count:	2	
Propulsor type:	Waterjet data	
Propeller type:		
Propeller series:		
Propeller sizing:		
Waterjet data:	RR K S3-112	
Impeller:	S3-100	
Definition:	Defined	
Max (rated) power:	12000,0	kW
Max (rated) RPM:	1150	RPM
Hub immersion:		
<b>Engine/gear</b>		
Engine data:	Click to define...	
Rated RPM:		RPM
Rated power:		kW
Gear efficiency:	1,00	
Gear ratio:	1,000	
Shaft efficiency:	1,00	
<b>Propeller options</b>		
Oblique angle corr:	Off	
Shaft angle to WL:	0,00	deg
Added rise of run:	0,00	deg
Propeller cup:		mm
KTKQ corrections:	Custom	
Scale correction:		
KT multiplier:		
KQ multiplier:		

Se hace la predicción por el método "SIMPLE WATERJET" ya que cumple todos los aspectos.

Mode: Propulsion		
<b>Hull-propulsor</b>	Calc	
Technique:		Prediction
Prediction:		Simple Waterjet
Reference ship:		
Max prop diam:	[mm]	0,0
<b>Corrections</b>		
Viscous scale corr:	Off	
Rudder location:		
Friction line:		
Hull form factor:		
Corr allowance:		
Roughness [mm]:	Off	
Ducted prop corr:	Off	
Tunnel stern corr:	Off	
Effective diam:	[m]	
Recess depth:	[m]	
<b>System analysis</b>		
Cavitation criteria:		Keller eqn
Analysis type:		Free run
CPP method:		Fixed RPM
Engine RPM:		
Mass multiplier:		
RPM constraint:		
Limit [RPM/s]:		



SPEED [kt]	POWER DELIVERY						TRANSP
	RPMPROP [RPM]	QPROP [kN·m]	PDPROP [kW]	PSPROP [kW]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	
1,00	54	0,79	4,5	4,5	17,9	17,9	321,7
10,00	262	18,62	510,7	510,7	2042,6	2042,6	28,3
20,00	417	47,23	2062,1	2062,1	8248,6	8248,6	14,0
30,00	627	106,78	7011,2	7011,2	28044,8	28044,8	6,2
35,00	663	119,44	8293,8	8293,8	33175,4	33175,4	6,1
36,00	671	122,13	8575,9	8575,9	34303,7	34303,7	6,1
37,00	678	124,98	8877,7	8877,7	35510,9	35510,9	6,0
+ 38,00 +	686	127,95	9196,1	9196,1	36784,5	36784,5	6,0
39,00	694	131,01	9527,6	9527,6	38110,4	38110,4	5,9
40,00	703	134,12	9869,0	9869,0	39475,9	39475,9	5,8

Se obtienen unos resultados de potencia total necesaria:

$$36784,5 \text{ kW}$$

Que por cada uno de los cuatro propulsores es de

$$9196,1 \text{ kW}$$

Las tablas completas se adjuntan a este documento en los anexos.

## Selección de los motores

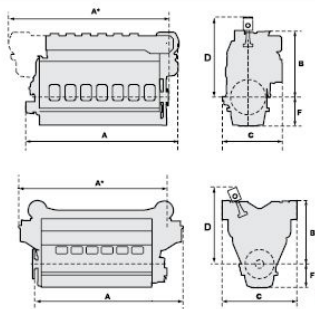
Una vez se ha calculado la potencia propulsora total, tenemos que seleccionar los motores propulsores en base a los modelos que hay en el mercado. Como el buque lleva 4 waterjets y cada uno va acoplado a un motor distinto, se necesitan 4 motores duales Diésel-LNG con una potencia calculada de 9196,1kW por unidad.

Actualmente son varios los fabricantes de motores con tecnología Dual Fuel, como pueden ser Wärtsilä, Rolls Royce, Man y Caterpillar. A pesar de eso, todavía no existe una amplia oferta de modelos a considerar para altas potencias como las que se requieren en este proyecto.

A ese nivel de potencia por motor existen muy pocos modelos capaces de funcionar en dual fuel y que quepan en el casco del buque.

El único modelo encontrado que podría adaptarse al espacio disponible es el Wärtsilä 46DF, en dos configuraciones distintas: 9 cilindros y 8 cilindros.

Dimensions (mm) and weights (tonnes)								Rated power		
Engine type	A*	A	B	C	D	F	Weight	Engine type	High output 1145 kW/cyl	High efficiency 1045 kW/cyl
6L46DF	8 670	8 833	3 255	3 185	3 750	1 430	102	6L46DF	6 870	6 270
7L46DF	9 350	9 513	3 255	3 185	3 750	1 430	118	7L46DF	8 015	7 315
8L46DF	10 310	10 830	3 445	3 185	3 750	1 430	130	8L46DF	9 160	8 360
9L46DF	10 990	11 510	3 445	3 185	3 750	1 430	146	9L46DF	10 305	9 405
12V46DF	11 120	10 350	3 670	4 555	3 800	1 620	184	12V46DF	13 740	12 540
14V46DF	12 170	11 400	3 670	4 555	3 800	1 620	223	14V46DF	16 030	14 630
16V46DF	13 450	12 780	3 860	5 174	3 800	1 620	235	16V46DF	18 320	16 720



Las dos opciones para este modelo son:

- 8L46DF: Es el modelo de 8 cilindros, de un tamaño más compacto pero que ofrece una potencia de 9160kW; 36kW menos de la requerida por la predicción de potencia.
- 9L46DF: El modelo de 9 cilindros, que ofrece una potencia superior a la requerida, pero su tamaño es mayor.

A la hora de elegir el motor nos encontramos con un serio problema. Ambos motores son demasiado grandes para poder alojarse en el casco del buque sin que supongan una dificultad a la hora de hacer el compartimentado ya que en el anteproyecto se había dimensionado una cámara de máquinas de 20 metros (en este caso se estiman

unos 32 metros) que ya empezaba a suponer un problema a la hora de encontrar espacios para la distribución de los compartimentos y tanques necesarios. Esto era debido a que entre la cámara de waterjets, la cámara de máquinas y la cámara de máquinas auxiliares ocupaban todo el espacio disponible en el casco a popa del centro de carena (situado a 31,675 metros de la perpendicular de popa). A causa de ello, la colocación de los tanques debía realizarse en una situación comprometida, ya que al estar alejada del centro de carena, su brazo longitudinal influía en gran medida sobre la situación de asiento del buque llegando a producir asiento negativo en determinadas condiciones de carga en las que el buque iba con sus tanques llenos.

Es por ese motivo por el que se intentará reducir al máximo el espacio de la cámara de máquinas, para ello teniendo que tomar decisiones como las que evaluaremos a continuación.

Además los motores seleccionados son motores muy pesados que podrían dar problemas a la hora del cálculo del peso en rosca y el desplazamiento.

Para solucionar este problema es preciso analizar otros motores que ofrece el mercado y ver las alternativas que se pueden tomar. Entre esas alternativas destacan varios modelos:

- Motor MTU de 9100Kw: Es un motor pequeño (2,0 x 6,6 metros) de alta velocidad que es fácil de alojar en la cámara de máquinas. El principal problema es que este motor no es Dual Fuel y en caso de seleccionar esta alternativa habría que descartar la capacidad del buque de operar con combustible LNG, lo que sería totalmente indeseable.

Engine model		20V 8000 M71L
Rated power to DIN ISO 3046		ICFN
Rated power max.	kW (bhp)	9100 (12203)
Speed max.	rpm	1150
Exhaust emission		18,34
Dimensions and masses without gearbox		
Length (L)	mm (in)	6645 (261,6)
Width (W)	mm (in)	2040 (80,3)
Height (H)	mm (in)	3375 (132,9)
Mass (dry)	kg (lbs)	46200.00 (101853.00)

- MAN V28/33D STC de 9100Kw con 2,4 metros de manga y 8 de eslora. Los problemas son los mismos que los del MTU: no es dual fuel.

MAN Diesel & Turbo		MAN V28/33D STC		Tier II		Tier III		EPA Tier 2	
								Tier III with SCR	
<b>Bore: 280 mm, Stroke: 330 mm</b>									
Load profile 'Navy'									
Speed	r/min	1000		1032					
mep	bar	26.9		28.6					
Rated power output	- ICN	kW		- IOFN		kW			
12V28/33D STC		5,460		6,000					
16V28/33D STC		7,280		8,000					
20V28/33D STC		9,100		10,000					
<b>Specific Fuel Oil Consumption (SFOC) to ISO conditions</b>									
ICFN fuel stop power		-		192.5 g/kWh					
MCR 100%		190 g/kWh (194 g/kWh <sup>1</sup> )		189.0 g/kWh					
MCR 85%		188 g/kWh (188 g/kWh <sup>1</sup> )		194.5 g/kWh					
Specific lube oil consumption 0.4 g/kWh									
Engine type specific reference charge air temperature before cylinder 40 °C									
Figures on theoretical propeller curve for distillates according to ISO 8217 DMA									
<b>Dimensions</b>									
Cyl. No.		12		16		20			
L	mm	6,207		7,127		8,047			
Dry mass *	t	37.8		45.8		52.9			
For multi-engine arrangement only									
<sup>1</sup> Engine is EPA Tier 2 compliant									

- Caterpillar Mak 9M46DF: Ofrece una potencia de 8685kW y sus dimensiones principales son de 10,7m de eslora y 3 metros de manga. Presenta los mismos problemas que el motor Wärtsilä seleccionado al principio además de no suministrar la potencia necesaria. Con esta alternativa no se obtendría ningún beneficio.

		Gas Mode	Gas Mode	Diesel Mode (HFO)	Diesel Mode (MDO only)
Emission		IMO III	IMO III	IMO II	IMO II
Bore	mm	460	460	460	460
Stroke	mm	610	610	610	610
Speed	rpm	500/514	500/514	500/514	500/514
Power	kW/cyl.	900	965	900	965
BMEP	bar	21.3/20.7	22.8/22.2	21.3/20.7	22.8/22.2
Liquid fuel consumption	g/kWh @100%	1.9	1.8	186	185
Gas fuel consumption	kJ/kWh @100%	7,200	7,275	-	-
Efficiency (development target)	%	50.0	49.5	45.3	45.6

Without engine driven pumps. Tolerance for SFOC and efficiency +/-5%.

- Wärtsilä 16V34DF: Es un motor que ofrece 8000kW y cuyas medidas (7,9 metros de largo frente a 3,3 metros de ancho) se adaptan a las dimensiones del buque. El principal problema es que otorgan una potencia menor a la requerida por la predicción de potencia, por lo que el buque no va a poder navegar a 38 nudos en condición de plena carga.

Wärtsilä 34DF		IMO Tier III, EPA T2/T3	
Cylinder bore	340 mm	<b>Fuel specification:</b>	
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

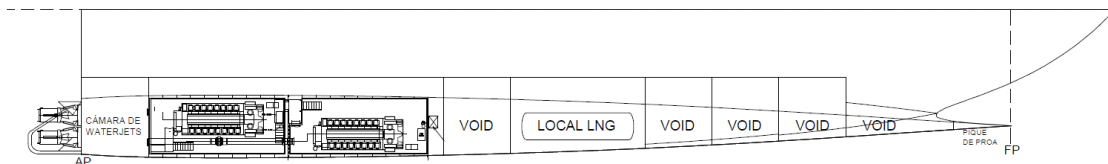
Entre todas las opciones estudiadas, la alternativa más viable es la elección del motor Wärtsilä 16V34DF de 8000kW de potencia al freno. Por lo tanto el buque contará con una planta propulsora de 32.000kW.

Para esa nueva potencia vamos a establecer una nueva velocidad de servicio a plena carga:

SPEED [kt]	POWER DELIVERY							TRANSP
	RPMPROP [RPM]	QPROP [kN·m]	PDPROP [kW]	PSPROP [kW]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]		
31,00	635	109,45	7275,7	7275,7	29102,7	29102,7	6,1	
32,00	642	111,92	7523,5	7523,5	30094,1	30094,1	6,1	
33,00	649	114,38	7772,4	7772,4	31089,7	31089,7	6,1	
34,00	656	116,94	8035,1	8035,1	32140,6	32140,6	6,1	
35,00	663	119,44	8293,8	8293,8	33175,3	33175,3	6,1	
36,00	671	122,13	8575,9	8575,9	34303,7	34303,7	6,1	
37,00	678	124,98	8877,7	8877,7	35510,9	35510,9	6,0	
+ 38,00 +	686	127,95	9196,1	9196,1	36784,5	36784,5	6,0	
39,00	694	131,01	9527,6	9527,6	38110,4	38110,4	5,9	
40,00	703	134,12	9869,0	9869,0	39476,0	39476,0	5,8	

La velocidad de servicio a plena carga será de, aproximadamente, 34 nudos.

Colocando estos motores en la cámara de máquinas de la disposición general hecha en el anteproyecto se puede comprobar que caben sin problemas.



A continuación se hará una predicción de potencia con el objetivo de ver a que calado el buque alcanzará la velocidad de 38kn.

La ficha del motor se adjunta en los anexos.

## Predicción de potencia para navegar a 38kn

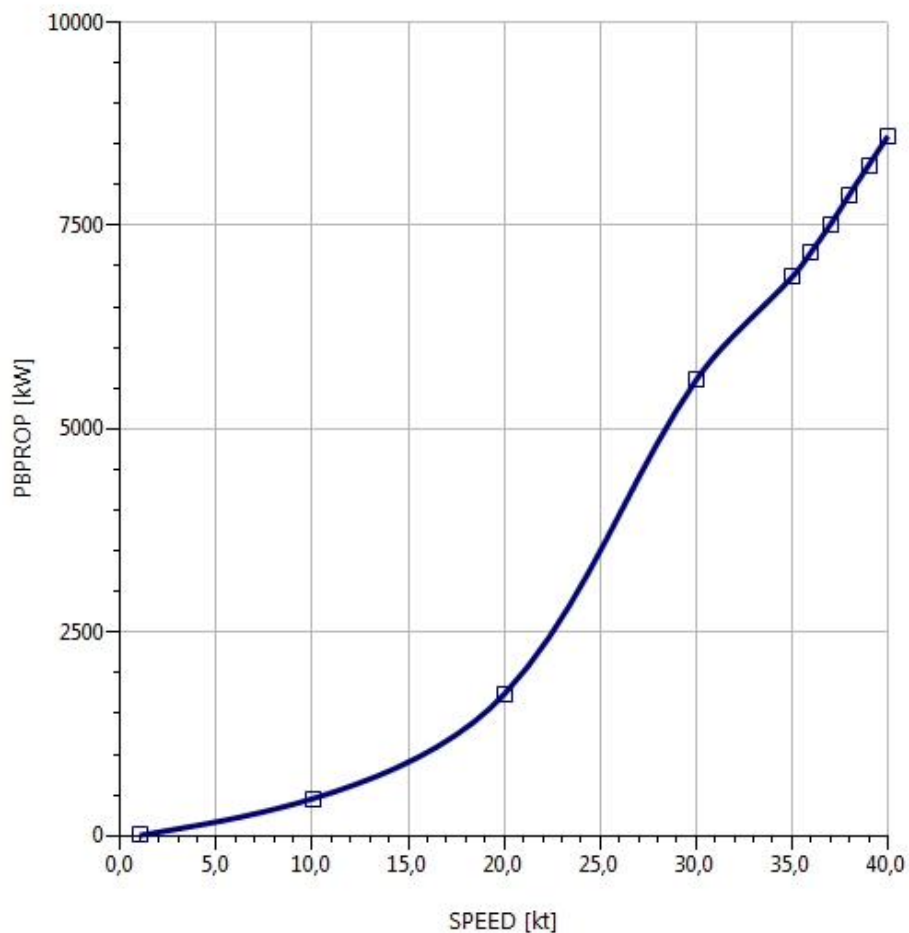
Ya que el buque no puede alcanzar la velocidad de 38Kn a plena carga se va a estudiar al calado al que la puede alcanzar. Se prueba con un calado de 3,5 metros.

En maxsurf se reduce el calado del buque a 3,5 metros y se calculan las hidrostáticas, obteniéndose:

Displacement	1907	t
Volume (displaced)	1906,982	m <sup>3</sup>
Draft Amidships	3,5	m
Immersed depth	3,5	m
WL Length	83,182	m
Beam max extents on WL	26,328	m
Wetted Area	1502,501	m <sup>2</sup>
Max sect. area	33,906	m <sup>2</sup>
Waterpl. Area	646,319	m <sup>2</sup>
Prismatic coeff. (Cp)	0,676	
Block coeff. (Cb)	0,588	
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,9	
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,697	
LCB length	31,65	from zero pt. (+ve fwd) m
LCF length	31,76	from zero pt. (+ve fwd) m
LCB %	38,049	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
LCF %	38,181	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
KB	1,962	m
KG fluid	0	m
BMt	37,078	m
BML	135,786	m
GMt corrected	39,04	m
GML	137,748	m
KMt	39,04	m
KML	137,748	m
Immersion (TPc)	6,463	tonne/cm
MTc	31,588	tonne.m
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	1299,32	tonne.m
Length:Beam ratio	7,463	
Beam:Draft ratio	3,184	
Length:Vol <sup>0.333</sup> ratio	6,708	
Precision	High	114 stations



A partir de esta tabla de hidrostáticas se calcula la predicción de potencia y se evalúan los resultados:



SPEED [kt]	POWER DELIVERY						
	RPMPROP [RPM]	QPROP [kN·m]	PDPROP [kW]	PSPROP [kW]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	TRANSP
1,00	52	0,74	4,0	4,0	16,2	16,2	297,4
10,00	252	17,18	452,6	452,6	1810,6	1810,6	26,6
20,00	394	42,14	1738,0	1738,0	6952,0	6952,0	13,8
30,00	582	91,92	5599,4	5599,4	22397,5	22397,5	6,4
35,00	623	105,30	6865,8	6865,8	27463,1	27463,1	6,1
36,00	632	108,44	7174,9	7174,9	28699,5	28699,5	6,0
37,00	642	111,82	7513,2	7513,2	30052,7	30052,7	5,9
+ 38,00 +	652	115,46	7882,6	7882,6	31530,2	31530,2	5,8
39,00	662	118,96	8243,7	8243,7	32974,7	32974,7	5,7
40,00	671	122,36	8600,4	8600,4	34401,7	34401,7	5,6

En esta condición el buque cumple con la velocidad de 38kn. Por lo que se podría decir que el buque cumple para un desplazamiento menor a 1906 toneladas.

En el anteproyecto se han estudiado cuatro condiciones de carga. Se considera que el buque puede navegar a 38Kn en las condiciones de salida de puerto sin coches (1858 t) y llegada a puerto sin coches (1676t).

Las tablas completas se adjuntan en los anexos:

*“Anexo 1: Tablas de resistencia”*

## Análisis de los resultados y conclusiones

Finalmente se ha escogido una planta propulsora de cuatro motores directamente acoplados a cuatro waterjets, de 8.000kW cada uno. En total se disponen de 32.000kW de potencia al freno que permiten navegar al buque a 34 nudos a un 100% de MCR en condiciones de máxima carga y 38 nudos en condiciones de 1900t de desplazamiento.

Si comparamos los resultados obtenidos con los buques similares de la base de datos:

- Bentago Express: 38kn al 100% con una potencia de 28.800kW.
- Bonanza Express: 38kn al 100% del MCR con una potencia de 28.320kW.
- Jean de la Vallete: 39kn al 100% del MCR con una potencia de 36.400kW.
- Puerto rico: 38Kn al 100% del MCR con una potencia de 32.800kW.
- Osman Gazi: 38Kn al 100% del MCR con una potencia de 28.800kW.

Se puede comprobar que la potencia necesaria oscila entre los 28.320 y los 36.400kW, valores entre los que se encuentra la planta propulsora seleccionada para el buque proyecto.

Como conclusión se considerará necesario, en posteriores vueltas de la espiral de proyecto, estudiar otras alternativas que permitan mejorar al buque alcanzar la velocidad requerida, como podría ser la modificación de las formas, la instalación de codillos y formas de semi planeo, etc.

## Velocidad a calado de máxima carga

Tras haber realizado los cuadernos 2 y 5, se ha calculado un desplazamiento en la condición de salida de puerto a plena carga de 2.082 toneladas.

Las predicciones de potencia realizadas hasta el momento han sido para un desplazamiento de 2.288 toneladas. Con el dato de 2.082 toneladas se recalcularía la predicción de potencia, dando otra vuelta a la espiral de diseño.

Debido a que el proyecto en cuestión se trata de un proyecto académico y que a la fecha de realización de este apartado no se dispone del tiempo suficiente para realizar los cálculos correspondientes a esta última corrección, no se considera necesario hacerlos, pero sí que considero necesario indicarlo.

Con esa corrección el resultado esperado obtendría una mayor velocidad de servicio a plena carga pero todavía no alcanzaría los 38 nudos requeridos en esta condición, ya que estos se alcanzan a partir de 1900 t de desplazamiento.

A falta de un estudio concreto del caso, se considera que el buque podrá alcanzar la velocidad de servicio de 38kn en todas las condiciones de carga menos en la mencionada en el párrafo anterior.

## Anexos

Anexo 1: Tablas de resistencia al avance.

Anexo 2: Tablas de potencia propulsora.

[Anexo 3: Tablas de potencia en condición de carga para navegar a 38kn.](#)

Anexo 4: Información de los waterjets.

[Anexo 5: Información del motor propulsor.](#)



## Anexos

Anexo 1: Tablas de resistencia al avance.

# Resistance

3 mar 2016 04:20

HydroComp NavCad 2012

Project ID: Proyecto 14-03 resistencia al avance  
 Description: Cálculo de la potencia del buque proyecto  
 File name: Resistencia al avance 2.hcnc

## Analysis parameters

<b>Vessel drag</b>		<b>ITTC-78 (CT)</b>		<b>Added drag</b>	
Technique:	[Calc] Prediction			Appendage:	[Off]
Prediction:	Fung (HSTS)			Wind:	[Off]
Reference ship:				Seas:	[Off]
Model LWL:				Shallow/channel:	[Off]
Expansion:	Standard			Margin:	[Calc] Hull + added drag [10%]
Friction line:	ITTC-57			<b>Water properties</b>	
Hull form factor:	[On] 1,134			Water type:	Salt
Speed corr:	[Off]			Density:	1026,00 kg/m3
Spray drag corr:	[Off]			Viscosity:	1,18920e-6 m2/s
Corr allowance:	ITTC-78 (v2008)				
Roughness [mm]:	[On] 0,00				
<b>Catamaran</b>					
Interference:	[On]				

## Prediction method check [Fung (HSTS)]

Parameters	FN [design]	CVOL	CP	LWL/BWL	BWL/T	XCB/LWL	IE	ATR/AX	BTR/BWL
Value	0,68	8,02	0,67	15,12*	1,37*	0,381*	1,2*	0,75*	0,90
Range	0,15-0,66	4,73-10,60	0,55-0,72	3,40-12,10	2,10-6,90	0,440-0,510	3,7-26,0	0,00-0,54	0,01-0,95

## Prediction results

SPEED [kt]	SPEED COEFS		ITTC-78 COEFS						
	FN	FV	RN	CF	[CV/CF]	CR	dCF	CA	CT
1,00	0,018	0,051	3,60e7	0,002430	1,265	0,000001	0,000000	0,000474	0,003549
10,00	0,180	0,510	3,60e8	0,001745	1,265	0,001245	0,000000	0,000588	0,004040
20,00	0,360	1,020	7,19e8	0,001595	1,265	0,001513	0,000000	0,000535	0,004067
30,00	0,540	1,530	1,08e9	0,001516	1,265	0,002102	0,000000	0,000492	0,004512
35,00	0,631	1,786	1,26e9	0,001488	1,265	0,001202	0,000000	0,000473	0,003557
36,00	0,649	1,837	1,30e9	0,001483	1,265	0,001071	0,000000	0,000470	0,003416
37,00	0,667	1,888	1,33e9	0,001478	1,265	0,000956	0,000000	0,000466	0,003291
+ 38,00 +	0,685	1,939	1,37e9	0,001473	1,265	0,000855	0,000000	0,000463	0,003181
39,00	0,703	1,990	1,40e9	0,001468	1,265	0,000767	0,000000	0,000459	0,003084
40,00	0,721	2,041	1,44e9	0,001464	1,265	0,000690	0,000000	0,000456	0,002998
RESISTANCE AND EFFECTIVE POWER									
SPEED [kt]	RBARE [kN]	RAPP [kN]	RWIND [kN]	RSEAS [kN]	RCHAN [kN]	RMARGIN [kN]	RTOTAL [kN]	PEBARE [kW]	PETOTAL [kW]
1,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,88	0,4	0,5
10,00	91,50	0,00	0,00	0,00	0,00	9,15	100,65	470,7	517,8
20,00	368,37	0,00	0,00	0,00	0,00	36,84	405,21	3790,2	4169,2
30,00	919,58	0,00	0,00	0,00	0,00	91,96	1011,53	14192,1	15611,4
35,00	986,77	0,00	0,00	0,00	0,00	98,68	1085,45	17767,4	19544,1
36,00	1002,53	0,00	0,00	0,00	0,00	100,25	1102,78	18566,8	20423,5
37,00	1020,37	0,00	0,00	0,00	0,00	102,04	1122,40	19422,1	21364,3
+ 38,00 +	1040,31	0,00	0,00	0,00	0,00	104,03	1144,34	20336,9	22370,6
39,00	1062,28	0,00	0,00	0,00	0,00	106,23	1168,51	21312,9	23444,2
40,00	1086,16	0,00	0,00	0,00	0,00	108,62	1194,77	22350,7	24585,7
OTHER									
SPEED [kt]	CTLR	CTLT							
1,00	0,00003	0,11037							
10,00	0,03871	0,12566							
20,00	0,04707	0,12648							
30,00	0,06537	0,14032							
35,00	0,03738	0,11063							
36,00	0,03330	0,10624							
37,00	0,02973	0,10236							
+ 38,00 +	0,02660	0,09894							
39,00	0,02386	0,09592							
40,00	0,02146	0,09323							

Anexo 2: Tablas de potencia propulsora.

# Propulsion

8 mar 2016 02:59

HydroComp NavCad 2012

Project ID **Proyecto 14-03 resistencia al avance**  
 Description **Cálculo de la potencia del buque proyecto**  
 File name **Resistencia al avance 2.hcnc**

## Analysis parameters

Hull-propulsor interaction		System analysis	
Technique:	Prediction	Cavitation criteria:	Keller eqn
Prediction:	[Calc] Simple Waterjet	Analysis type:	Free run
Reference ship:		CPP method:	
Max prop diam:	0,0 mm	Engine RPM:	
<b>Corrections</b>		Mass multiplier:	
Viscous scale corr:	[Off]	RPM constraint:	
Rudder location:		Limit [RPM/s]:	
Friction line:		<b>Water properties</b>	
Hull form factor:		Water type:	Salt
Corr allowance:		Density:	1026,00 kg/m3
Roughness [mm]:		Viscosity:	1,18920e-6 m2/s
Ducted prop corr:	[Off]		
Tunnel stern corr:	[Off]		
Effective diam:			
Recess depth:			

## Prediction method check [Simple Waterjet]

Parameters	FV [design]
Value	1,94
Range	1,00-5,00

## Prediction results [System]

SPEED [kt]	HULL-PROPULSOR				ENGINE		
	PETOTAL [kW]	WFT	THD	EFFR	RPMENG [RPM]	PBPROP [kW]	
1,00	0,5	0,0000	0,0000	1,0000	54	4,5	
10,00	517,8	0,0000	0,0000	1,0000	262	510,7	
20,00	4169,2	0,0000	0,0000	1,0000	417	2062,1	
30,00	15611,4	0,0000	0,0000	1,0000	627	7011,2	
35,00	19544,1	0,0000	0,0000	1,0000	663	8293,8	
36,00	20423,5	0,0000	0,0000	1,0000	671	8575,9	
37,00	21364,3	0,0000	0,0000	1,0000	678	8877,7	
+ 38,00 +	22370,6	0,0000	0,0000	1,0000	686	9196,1	
39,00	23444,2	0,0000	0,0000	1,0000	694	9527,6	
40,00	24585,7	0,0000	0,0000	1,0000	703	9869,0	
SPEED [kt]	POWER DELIVERY						
	RPMPROP [RPM]	QPROP [kN.m]	PDPROP [kW]	PSPROP [kW]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	TRANSP
1,00	54	0,79	4,5	4,5	17,9	17,9	321,7
10,00	262	18,62	510,7	510,7	2042,6	2042,6	28,3
20,00	417	47,23	2062,1	2062,1	8248,6	8248,6	14,0
30,00	627	106,78	7011,2	7011,2	28044,8	28044,8	6,2
35,00	663	119,44	8293,8	8293,8	33175,4	33175,4	6,1
36,00	671	122,13	8575,9	8575,9	34303,7	34303,7	6,1
37,00	678	124,98	8877,7	8877,7	35510,9	35510,9	6,0
+ 38,00 +	686	127,95	9196,1	9196,1	36784,5	36784,5	6,0
39,00	694	131,01	9527,6	9527,6	38110,4	38110,4	5,9
40,00	703	134,12	9869,0	9869,0	39475,9	39475,9	5,8
SPEED [kt]	EFFICIENCY		THRUST				
	EFFO	EFFOA	THRPROP [kN]	DELTHR [kN]			
1,00	0,0253	0,0253	0,22	0,44			
10,00	0,2535	0,2535	25,16	50,32			
20,00	0,5057	0,5057	101,35	202,70			
30,00	0,5567	0,5567	252,88	505,77			
35,00	0,5893	0,5893	271,44	542,88			
36,00	0,5957	0,5957	275,85	551,71			
37,00	0,6021	0,6021	280,84	561,68			
+ 38,00 +	0,6088	0,6088	286,37	572,75			
39,00	0,6157	0,6157	292,39	584,79			
40,00	0,6230	0,6230	298,80	597,60			



# Propulsion

8 mar 2016 02:59

HydroComp NavCad 2012

Project ID

Description

File name

Proyecto 14-03 resistencia al avance

Cálculo de la potencia del buque proyecto

Resistencia al avance 2.hcnc

## Prediction results [Propulsor]

SPEED [kt]	PROPULSOR COEFS							
	J	KT	KQ	KTJ2	KQJ3	CTH	CP	
1,00	0,3174	0,0253	0,05044	0,25121	1,5772	0,63969	25,235	
10,00	0,6549	0,1227	0,05044	0,28601	0,17957	0,72832	2,8732	
20,00	0,8225	0,1948	0,05044	0,288	0,090644	0,73338	1,4503	
30,00	0,8205	0,2150	0,05044	0,31938	0,091315	0,81329	1,461	
35,00	0,9051	0,2063	0,05044	0,25187	0,068024	0,64137	1,0884	
36,00	0,9206	0,2051	0,05044	0,24194	0,064638	0,61609	1,0342	
37,00	0,9354	0,2040	0,05044	0,23318	0,061632	0,59378	0,98612	
+ 38,00 +	0,9494	0,2032	0,05044	0,22542	0,058934	0,57403	0,94295	
39,00	0,9630	0,2026	0,05044	0,21851	0,056481	0,55643	0,90369	
40,00	0,9762	0,2023	0,05044	0,21227	0,054226	0,54055	0,86761	

[Anexo 3: Tablas de potencia en condición de carga para navegar a 38kn.](#)

# Propulsion

8 mar 2016 03:01

HydroComp NavCad 2012

Project ID **Proyecto 14-03 resistencia al avance**  
 Description **Cálculo de la potencia del buque proyecto**  
 File name **A CALADO 3,5M.hcnc**

## Analysis parameters

<b>Hull-propulsor interaction</b>		<b>System analysis</b>	
Technique:	Prediction	Cavitation criteria:	Keller eqn
Prediction:	[Calc] Simple Waterjet	Analysis type:	Free run
Reference ship:		CPP method:	
Max prop diam:	0,0 mm	Engine RPM:	
<b>Corrections</b>		Mass multiplier:	
Viscous scale corr:	[Off]	RPM constraint:	
Rudder location:		Limit [RPM/s]:	
Friction line:		<b>Water properties</b>	
Hull form factor:		Water type:	Salt
Corr allowance:		Density:	1026,00 kg/m3
Roughness [mm]:		Viscosity:	1,18920e-6 m2/s
Ducted prop corr:	[Off]		
Tunnel stern corr:	[Off]		
Effective diam:			
Recess depth:			

## Prediction method check [Simple Waterjet]

Parameters	FV [design]
Value	2,00
Range	1,00-5,00

## Prediction results [System]

SPEED [kt]	HULL-PROPULSOR				ENGINE		
	PETOTAL [kW]	WFT	THD	EFFR	RPMENG [RPM]	PBPROP [kW]	
1,00	0,4	0,0000	0,0000	1,0000	52	4,0	
10,00	459,0	0,0000	0,0000	1,0000	252	452,6	
20,00	3524,5	0,0000	0,0000	1,0000	394	1738,0	
30,00	12429,7	0,0000	0,0000	1,0000	582	5599,4	
35,00	16046,9	0,0000	0,0000	1,0000	623	6865,8	
36,00	16873,8	0,0000	0,0000	1,0000	632	7174,9	
37,00	17754,4	0,0000	0,0000	1,0000	642	7513,2	
+ 38,00 +	18691,1	0,0000	0,0000	1,0000	652	7882,6	
39,00	19684,8	0,0000	0,0000	1,0000	662	8243,7	
40,00	20736,0	0,0000	0,0000	1,0000	671	8600,4	
SPEED [kt]	POWER DELIVERY						
	RPMPROP [RPM]	QPROP [kN·m]	PDPROP [kW]	PSPROP [kW]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	TRANSP
1,00	52	0,74	4,0	4,0	16,2	16,2	297,4
10,00	252	17,18	452,6	452,6	1810,6	1810,6	26,6
20,00	394	42,14	1738,0	1738,0	6952,0	6952,0	13,8
30,00	582	91,92	5599,4	5599,4	22397,5	22397,5	6,4
35,00	623	105,30	6865,8	6865,8	27463,1	27463,1	6,1
36,00	632	108,44	7174,9	7174,9	28699,5	28699,5	6,0
37,00	642	111,82	7513,2	7513,2	30052,7	30052,7	5,9
+ 38,00 +	652	115,46	7882,6	7882,6	31530,2	31530,2	5,8
39,00	662	118,96	8243,7	8243,7	32974,7	32974,7	5,7
40,00	671	122,36	8600,4	8600,4	34401,7	34401,7	5,6
SPEED [kt]	EFFICIENCY		THRUST				
	EFFO	EFFOA	THRPROP [kN]	DELTHR [kN]			
1,00	0,0253	0,0253	0,20	0,40			
10,00	0,2535	0,2535	22,30	44,61			
20,00	0,5070	0,5070	85,64	171,28			
30,00	0,5550	0,5550	201,36	402,71			
35,00	0,5843	0,5843	222,81	445,62			
36,00	0,5880	0,5880	227,78	455,56			
37,00	0,5908	0,5908	233,19	466,38			
+ 38,00 +	0,5928	0,5928	239,03	478,06			
39,00	0,5973	0,5973	245,41	490,82			
40,00	0,6035	0,6035	252,22	504,44			





# Propulsion

8 mar 2016 03:01

HydroComp NavCad 2012

Project ID

Description

File name

Proyecto 14-03 resistencia al avance

Cálculo de la potencia del buque proyecto

A CALADO 3,5M.hcnc

## Prediction results [Propulsor]

SPEED [kt]	PROPULSOR COEFS							
	J	KT	KQ	KTJ2	KQJ3	CTH	CP	
1,00	0,3286	0,0245	0,05044	0,22651	1,4221	0,5768	22,754	
10,00	0,6818	0,1178	0,05044	0,25352	0,15917	0,64559	2,5468	
20,00	0,8708	0,1845	0,05044	0,24336	0,076396	0,6197	1,2223	
30,00	0,8844	0,1989	0,05044	0,2543	0,072927	0,64758	1,1668	
35,00	0,9639	0,1921	0,05044	0,20674	0,056312	0,52646	0,90099	
36,00	0,9770	0,1907	0,05044	0,19978	0,054078	0,50873	0,86525	
37,00	0,9889	0,1893	0,05044	0,19361	0,052159	0,49303	0,83455	
+ 38,00 +	0,9995	0,1880	0,05044	0,18816	0,050516	0,47913	0,80826	
39,00	1,0106	0,1873	0,05044	0,1834	0,04887	0,46702	0,78192	
40,00	1,0220	0,1871	0,05044	0,17918	0,047256	0,45628	0,75609	

Report ID20160308-1501

HydroComp NavCad 2012 12.02.0019.S1002.539

[Anexo 4: Información de los waterjets.](#)



Courtesy of Austal

## Waterjets



The Rolls-Royce Kamewa waterjet range is the broadest in the business. Manufactured in aluminium and stainless steel, they are available in powers from 50kW to above 36MW. Using the latest design techniques unit size, weight and life-cycle costs have been reduced. The waterjet has many advantages over the propeller for high speed vessels. They provide higher speeds with the same power, or substantially lower fuel consumption at a constant speed and lower power.

At constant rpm, a Rolls-Royce waterjet absorbs approximately the same power regardless of the ship's speed. The engine cannot be overloaded, which means less engine stress and longer service life. Waterjets produce less noise and vibration than propellers. At speeds over 20 knots it can be by as much as 50 per cent. No reversing gearbox is required and craft can stop in a few lengths, turn on the spot and even manoeuvre sideways.

Interceptor trim tabs are used to achieve the optimum trim and list angle when operating and help the vessel achieve the best possible speed and comfort. A compact system is available for FF and A3 aluminum waterjets.



# Waterjet range

## FF-series .....

Medium and small-sized aluminium waterjets with axial flow technology, with aluminium inlet duct/hydraulics.

**Powers:**  
260 - 2000kW



## Kamewa A3-series .....

Medium-sized waterjets with stainless steel mixed flow pump technology with aluminium inlet duct/hydraulics.

**Powers:**  
450 - 2600kW



## Kamewa S3-series .....

Medium and large stainless steel waterjets with mixed flow technology and optimised inlet duct design for a high degree of customisation.

**Powers:**  
800 - 4100kW



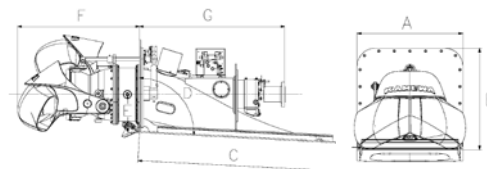
### Key features:

- Best propulsive efficiency on the market
- Superior manoeuvrability at all speeds
- Low noise and vibration levels
- Engineered for low life cycle costs

# FF-series

The Kamewa FF-series waterjets are manufactured from strong, corrosion resistant materials. Impeller, shaft and steering/reversing rods are made of stainless steel and all other components are aluminium for maximum strength and lightweight. Seagrade aluminium is used to manufacture the inlet duct, so it can be directly welded into the hull when required. The pump is a single-stage axial flow design, providing a high volume flow with good pulling thrust at lower speeds. Waterjets in the FF-series do not normally require a reduction gear.

All FF-series waterjets can be supplied as a booster unit without steering and reversing gear. The new FF jet models incorporate improvements to pumps, reversing buckets and steering nozzles and deliver the best size/weight-ratio in their class.



### Technical data

Waterjet size	Dimensions (mm)					Power (kW)*	Weight (kg)	
	A	B	C	F	G		Dry wt.	EW**
<b>FF-240</b>	410	574	855	885	400	260	124	25
<b>FF-270</b>	430	541	1060	816	551	370	155	28
<b>FF-310</b>	520	651	1203	1065	626	500	242	40
<b>FF-340</b>	650	700	1070	1107	676	530	270	52
<b>FF-37</b>	750	724	1660	911	1144	585	380	138
<b>FF-41</b>	860	803	1943	1049	1338	735	485	170
<b>FF-45</b>	880	846	1827	1114	1081	885	520	209
<b>FF-500</b>	950	970	2200	1333	1525	1100	840	350
<b>FF-550</b>	1100	1045	2400	1265	1963	1390	960	395
<b>FF-600</b>	1150	1150	2800	1552	1863	1800	1325	495
<b>FF-67</b>	1280	1287	3220	1592	1920	2000	1545	703

\*Classification power. Higher sprint powers can be confirmed case by case

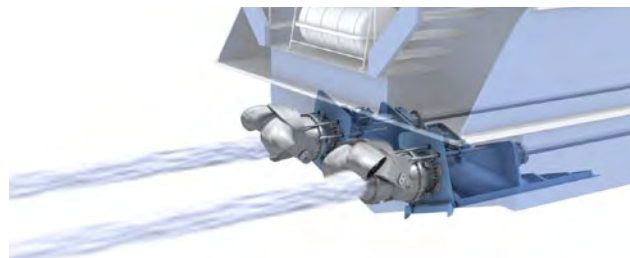
\*\* Entrained water inside transom

All data subject to change without prior notice

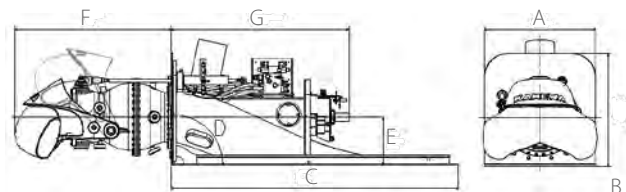
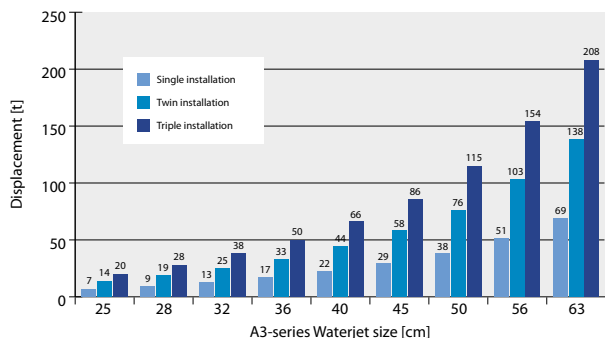


# A3-series

All Kamewa A3-series waterjets are supplied with an integrated and high performance aluminium inlet duct, with the hydraulic valve block and pipework mounted on it for simple and cost effective installation. The compact reversing bucket is one of the most efficient available, and delivers around 70 per cent of forward thrust for quick stopping. A new stainless steel steering nozzle minimises hydrodynamic losses and noise levels while providing superior speed in turns. The A3-series offers seven different water outlet nozzle diameters to provide a balance to the waterjet speed, and five different impeller blade pitch angles for fine adjustment of the rpm for optimum performance.



Recommended maximum displacement for planing hulls over 30 knots



## Technical data

Waterjet	Dimensions (mm)						Max. power (kW)*	Weight (kg)	
	A	B	C	E	F	G		Dry wt.	EW**
<b>A3-25</b>	600	600	1200	266	1038	577	450	247	40
<b>A3-28</b>	672	672	1344	297	1132	686	570	346	57
<b>A3-32</b>	736	746	1911	320	1036	1187	750	450	119
<b>A3-36</b>	796	836	2134	360	1166	1284	950	575	170
<b>A3-40</b>	850	912	2370	400	1275	1472	1320	780	233
<b>A3-45</b>	940	1005	2703	450	1433	1637	1670	1080	323
<b>A3-50</b>	1050	1120	2980	500	1591	1809	2060	1440	435
<b>A3-56</b>	1150	1234	3330	560	1773	2017	2580	1900	616
<b>A3-63</b>	1290	1450	3750	630	1995	2270	2600	2360	880

\* Classification power. Higher sprint powers can be confirmed case by case

\*\* Entrained water inside transom

All data subject to change without prior notice

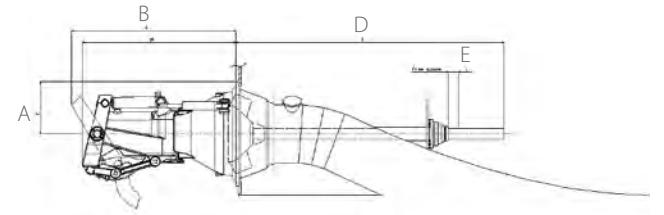
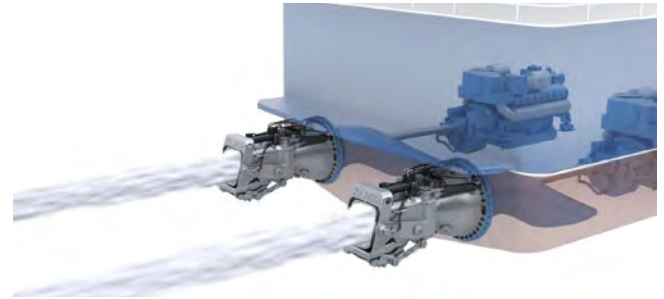


# S3-series

The Kamewa S3-series waterjets are developed for the most demanding applications. S3 and A3-series waterjets are fitted with the market's highest performance mixed flow pump, developed at our own hydrodynamic research centre. The Kamewa S3-series is fully customized for each project in order to achieve optimised performance. A screen-based CanBus system is used for operating the vessel.

## Key features:

- Highest pump performance on the market
- Stainless steel for maximum corrosion and wear resistance
- Impeller, nozzle and inlet duct designs optimised to meet each application's performance demands



## Technical data

Waterjet	Dimensions (mm)				Power range (kW)*	Weight (kg)		
	A	B	D (typical)	E (typical)		Steerable	Booster	EW**
<b>S3-45</b>	410	1318	2450	100	800 - 1790	725	453	577
<b>S3-50</b>	500	1455	2110	100	1000 - 2580	1004	600	750
<b>S3-56</b>	550	1630	2310	100	1200 - 3440	1385	865	1040
<b>S3-63</b>	600	1782	2510	100	1400 - 4300	1882	1172	1490
<b>S3-71</b>	650	2005	2600	100	1500 - 5100	2550	1596	2130
<b>S3-80</b>	700	2269	2800	100	1800 - 6500	3565	2180	3050
<b>S3-90</b>	800	2527	3180	100	2000 - 8500	4820	2940	4340
<b>S3-100</b>	900	2785	3560	100	2500 - 10000	6090	3700	5950
<b>S3-112</b>	1000	3119	3910	100	4000 - 12500	8360	5240	8370
<b>S3-125</b>	1100	3487	4020	100	5000 - 16000	11720	7460	11630
<b>S3-140</b>	1232	3906	4503	100	6000 - 20000	16210	10360	16341
<b>S3-160</b>	1400	4462	5180	100	7000 - 26000	23670	10550	24400
<b>S3-180</b>	1600	5020	5770	100	8000 - 33000	33100	12650	34740
<b>S3-200</b>	1760	5580	6432	100	10000 - 41000	44720	28840	47633

\* Depending on speed and operating profile. For performance predictions please contact Rolls-Royce

\*\* Entrained water inside transom

All data subject to change without prior notice

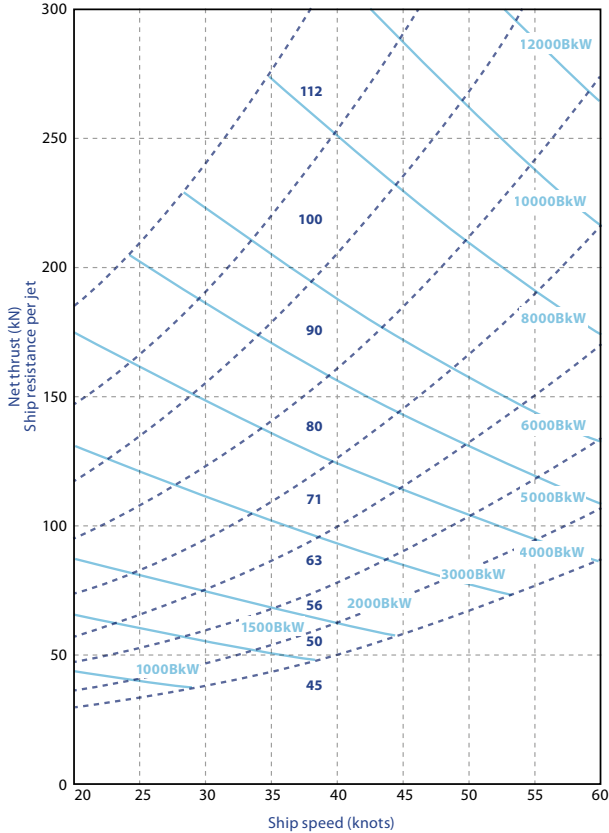


### S3-series size selection

For most applications an S3 unit one size smaller than previously specified will give the same performance, giving a 25 per cent reduction in the total unit weight plus entrained water, and a transom flange diameter 12 per cent smaller.

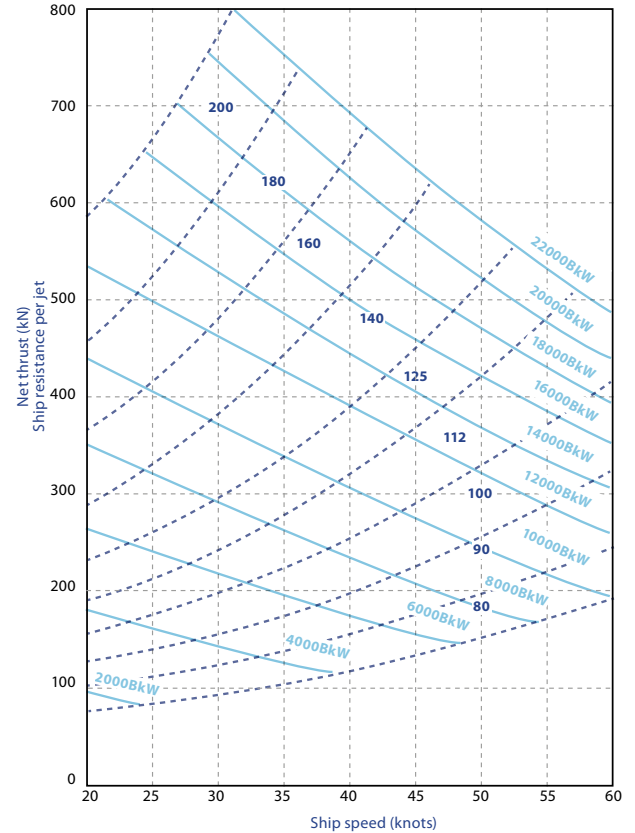
Alternatively, retaining an S3 waterjet of the same size will offer a higher top speed or less installed power and lower fuel consumption for the same speed, or a larger payload.

### Kamewa Waterjet Propulsion Size 45-112 S3



\*This table is for preliminary size selection only, in order to get an understanding of weight and size. For performance predictions for your specific vessel, please contact Rolls-Royce.

### Kamewa Waterjet Propulsion Size 80-200 S3



\*This table is for preliminary size selection only, in order to get an understanding of weight and size. For performance predictions for your specific vessel, please contact Rolls-Royce.



[Anexo 5: Información del motor propulsor.](#)

## WÄRTSILÄ 34DF



## 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.

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.

**DOWNLOAD PRODUCT  
GUIDE WÄRTSILÄ 34DF**

**DOWNLOAD BROCHURE  
DUAL-FUEL ENGINES**

**DOWNLOAD BROCHURE  
LNG SHIPPING  
SOLUTIONS**

## Advantages

## Technical data

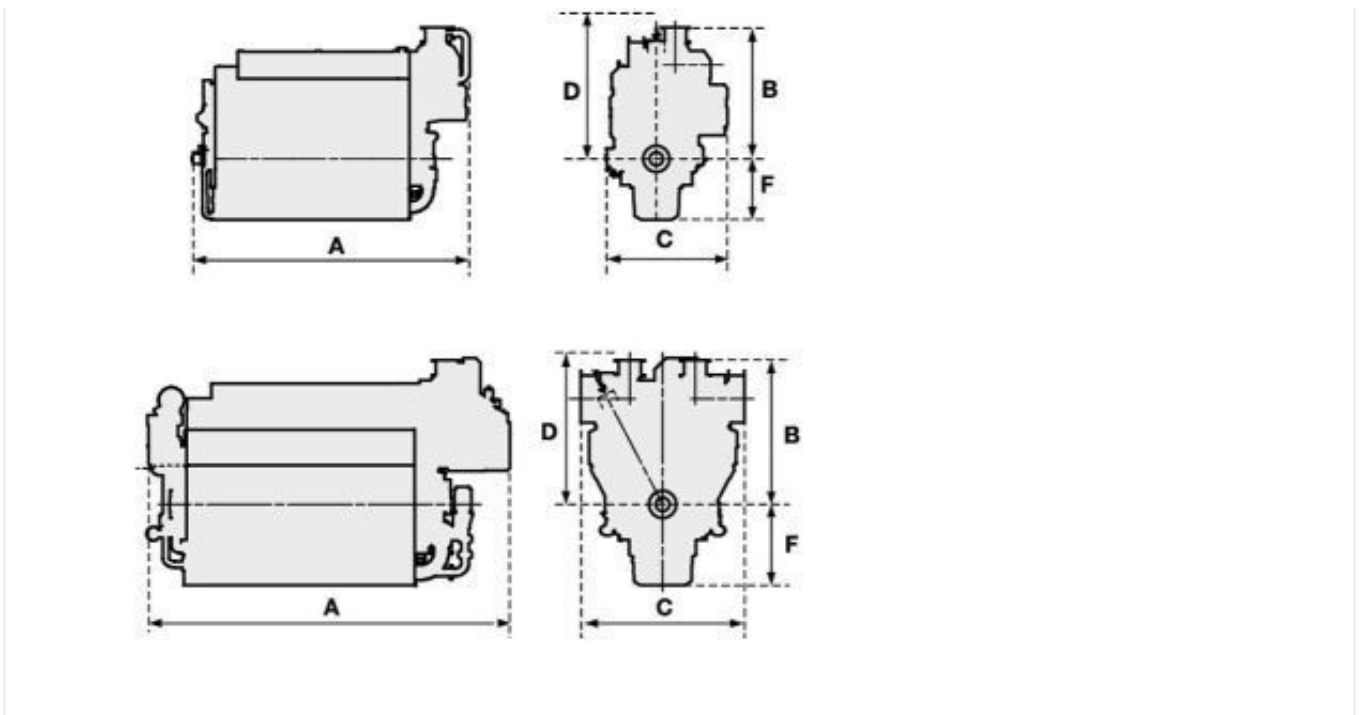
### Wärtsilä 34DF

IMO Tier III, EPA T2/T3

Cylinder bore	340 mm	<b>Fuel specification:</b>
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)

Engine type	A	B	C	D	F	Weight
6L34DF	5 325	2 550	2 380	2 345	1 155	35
8L34DF	5 960	2 550	2 610	2 345	1 155	44
9L34DF	6 870	2 550	2 610	2 345	1 155	49
12V34DF	6 865	2 435	2 900	2 120	1 210	61
16V34DF	7 905	2 570	3 325	2 120	1 210	77



### Definitions and notes

#### Rated power

Engine type	kW
6L34DF	3 000
8L34DF	4 000
9L34DF	4 500
12V34DF	6 000
16V34DF	8 000

### Applications

## Related references

## ABOUT WÄRTSILÄ

Wärtsilä is a global leader in complete lifecycle power solutions for the marine and energy markets. By emphasising technological innovation and total efficiency, Wärtsilä maximises the environmental and economic performance of the vessels and power plants of its customers.

## LINKS

[Marine](#)

[Oil & Gas](#)

[Energy](#)

[Services](#)

[Products](#)

[Resources](#)

[About](#)

[Careers](#)

[Media](#)

[Investors](#)

[Sustainability](#)

[Contact](#)

## STAY CONNECTED

© 2016 Wärtsilä [Legal and Privacy notice](#)