



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado/Máster
CURSO 2019/20

REMOLCADOR ROMPEHIELOS DE 90 TPF

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNA/O

Miguel Burgos Torres

TUTORAS/ES

Luis Manuel Carral Couce

FECHA

DICIEMBRE 2020



GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2019-2020

PROYECTO NÚMERO

TIPO DE BUQUE: BUQUE REMOLCADOR ROMPEHIELOS 90 TPF, PARA OPERACIONES DE PUERTO Y OPERACIONES ROMPEHIELOS

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: BUREAU VERITAS, MARPOL, SOLAS Y REGLAMENTOS STANDARD PARA ESTE TIPO DE BUQUE.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 90 TPF

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 12 NUDOS EN CONDICIONES DE SERVICIO, 85% MCR + 15% MM

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: LO HABITUAL EN ESTE TIPO DE BUQUES

PROPULSIÓN: DIÉSEL ELÉCTRICA MDO CON DOS HÉLICES AZIPODS

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 6 TRIPULANTES

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: LOS HABITUALES EN ESTE TIPO DE BUQUES.

Ferrol, 10 Setiembre 2019

ALUMNO/A: **D. MIGUEL BURGOS TORRES**



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO/MÁSTER
CURSO 2019/20**

REMOLCADOR ROMPEHIELOS DE 90 TPF

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

Cuaderno 6

**PREDICCIÓN DE POTENCIA Y SELECCIÓN DE PLANTA
PROPULSORA**

Índice

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. PLANTEAMIENTO DE LA PLANTA PROPULSORA.....	6
3. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA AL AVANCE DEL BUQUE.....	8
4. PREDICCIÓN DE POTENCIA EN NAVEGACIÓN LIBRE.....	13
5. PREDICCIÓN DE POTENCIA EN REMOLQUE.....	16
6. ELECCIÓN PROPULSIÓN AZIPOD.....	19
7. ELECCIÓN FINAL DEL GENERADOR.....	21
<i>ANEXO I: Informe NavCad Resistencia al avance.....</i>	<i>23</i>
<i>ANEXO II: Informe NavCad Propulsión en navegación.....</i>	<i>26</i>
<i>ANEXO III: Informe NavCad Propulsión en remolque.....</i>	<i>29</i>

1. INTRODUCCIÓN.

En este cuaderno se realizará una estimación de la potencia propulsora necesaria. Además, una vez realizado este proceso, se definirán los propulsores a instalar en el buque. Todo ello se realizará mediante el programa “*HidroComp NavCad*”.

En primer lugar, se calculará la resistencia al avance del buque proyecto y a continuación, se calcula la potencia necesaria para la velocidad de diseño, para posteriormente dimensionar el propulsor.

Además de la predicción de potencia para navegación en aguas libres, se realizará una predicción de potencia en remolque, dada la condición de remolcador de este proyecto.

El buque proyecto debe cumplir dos condiciones de la RPA:

- 90 toneladas de tracción a punto fijo.
- 12 nudos en navegación en condición de servicio.

Para ello, el buque contará con una planta propulsora Diésel-eléctrica con dos propulsores AziPod en popa.

A continuación, se muestran las características principales del buque proyecto:

Características principales	
Lpp	38 m
B	12,5 m
D	6,65 m
T	5,27 m
BHP	6000 kW
Desplazamiento	1308,6
Cb	0,52
Cm	0,98
Cp	0,53
Velocidad (m/s)	6,17
Velocidad (kn)	12
L	40,36 m

2. PLANTEAMIENTO DE LA PLANTA PROPULSORA.

Además de la potencia necesaria para la navegación del buque, también se necesita una potencia determinada para trabajos de remolque.

El cálculo de la potencia en el cuaderno 1 fue obtenida mediante rectas de regresión con una potencia estimada de 6022 kW.

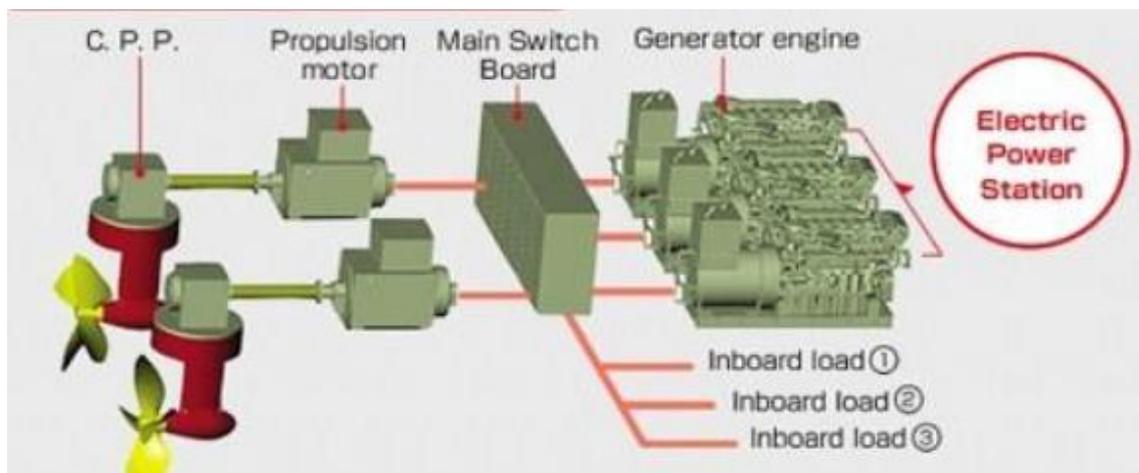
A partir de esa potencia se volverán a calcular las potencias necesarias, tanto en navegación libre como en remolque, y además se dimensionará el propulsor del buque.

La planta propulsora contará con:

- 2 diésel generadores encargados de suministrar energía eléctrica suficiente a todos los consumidores del buque, incluyendo AziPods, cubriendo, de este modo, la potencia necesaria para las condiciones de proyecto.
- 2 propulsores AziPod eléctricos con potencia suficiente para la propulsión.

Se ha tomado como ejemplo la planta propulsora del buque de la base de datos “*RT Emotion*”, los requerimientos de la RPA y la posibilidad de navegar a velocidad de diseño con un diésel generador averiado.

A continuación, se muestra un esquema de la propulsión escogida para el buque proyecto.



Para el cálculo de la resistencia al avance y de la potencia, se emplearán las hidrostáticas del buque proyecto obtenidas en cuadernos anteriores.

Draft Amidships m	4,952
Displacement t	1251
Heel deg	-0,3
Draft at FP m	4,875
Draft at AP m	5,030
Draft at LCF m	4,960
Trim (+ve by stern) m	0,155
WL Length m	37,701
Beam max extents on WL m	12,500
Wetted Area m ²	589,783
Waterpl. Area m ²	411,801
Prismatic coeff. (Cp)	0,578
Block coeff. (Cb)	0,517
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,912
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,874
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	20,251
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	17,135
KB m	3,080
KG fluid m	4,470
BMt m	3,608
BML m	32,762
GMt corrected m	2,217
GML m	31,371
KMt m	6,687
KML m	35,841
Immersion (TPc) tonne/cm	4,221
MTc tonne.m	10,326
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	48,395
Max deck inclination deg	0,4197
Trim angle (+ve by stern) deg	0,2331

3. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA AL AVANCE DEL BUQUE.

Para el cálculo de la resistencia al avance del buque partirá del programa “NavCad”, introduciendo distintos valores, dimensiones y coeficientes del buque.

Los datos que se introducirán en el programa se tomarán en primer lugar los obtenidos mediante el programa “MaxSurf Resistance”, y se complementarán con las hidrostáticas del buque al calado de máxima carga ya que es la situación de potencia más desfavorable que el buque deberá afrontar.

Los datos introducidos son los siguientes:

- Condition: En este apartado se definen los parámetros principales del buque, tipo de propulsión, propiedades del fluido y el rango de velocidades.

Project		
Project ID:	Tug IB	
Description:		
Summary		
Scope:	ITTC-78 (CT)	▼
Configuration:	Monohull	▼
Chine type:	Round/multiple	▼
Length on WL:	38,00	m
Displacement:	1251,00	t
Propulsor type:	Propeller	▼
Count:	2	▼
Water properties		
Water type:	Salt	▼
Density:	1026,0000	kg/m ³
Viscosity:	1,18920e-6	m ² /s
Speeds		
Speed [01]	0,10	kt
Speed [02]	1,00	kt
Speed [03]	5,00	kt
Speed [04]	7,00	kt
Speed [05]	9,00	kt
Speed [06]	10,00	kt
Speed [07]	11,00	kt
Speed [08]	12,00	kt
Speed [09]	12,50	kt
Speed [10]	13,00	kt

- Hull: En dicho apartado se definen las características geométricas del buque proyecto. Dichos valores son obtenidos de las hidrostáticas a plena carga del programa “MaxSurf Stability”.

Hull		
Configuration:	Monohull	▼
Chine type:	Round/multiple	▼
General		
Length on WL:	38,00	m
Max beam on WL:	12,50	m
Max molded draft:	5,27	m
Displacement:	1251,00	t
Wetted surface:	589,78	m ²
Demi-hull spacing:		m
ITTC-78 (CT)		
LCB fwd TR:	20,25	m
LCF fwd TR:	17,14	m
Max section area:	59,20	m ²
Waterplane area:	411,80	m ²
Bulb section area:	0,00	m ²
Bulb ctr below WL:	0,00	m
Bulb nose fwd TR:	0,00	m
Imm transom area:	9,76	m ²
Transom beam WL:	13,06	m
Transom immersion:	1,21	m
Half entrance angle:	37,52	deg
Bow shape factor:	0,0	[AVG flow]
Stern shape factor:	1,0	[WL flow]

- Appendage: En este apartado se calculará por predicción de porcentaje, estableciendo como valor el 5% del casco.

Appendage		
Definition:	Percentage	▼
Percent of hull drag:	5,00	%

- Environment: Se definen las condiciones meteorológicas. Este apartado no se tendrá en cuenta ya que se introducirá un margen de mar para cubrir estos posibles efectos.

Wind		
Wind speed:	0,00	kt
Angle off bow:	0,00	deg
Gradient correction:	Off	
Exposed hull		
Transverse area:	0,00	m ²
VCE above WL:	0,00	m
Profile area:	0,00	m ²
Superstructure		
Superstructure shape:	Cargo ship	
Transverse area:	0,00	m ²
VCE above WL:	0,00	m
Profile area:	0,00	m ²
Seas		
Significant wave ht:	0,00	m
Modal wave period:	0,0	sec
Shallow/channel		
Water depth:	0,00	m
Type:	Shallow water	
Channel width:		m
Channel side slope:		deg
Hull girth:		m

- Misc: En este apartado se define el margen de mar. Según la RPA del buque proyecto se define un margen de mar del 15%.

Margin		
Design margin:	15	%
Basis:	Hull + added dr...	

Una vez completados los diversos campos, se especifican las condiciones del análisis de la resistencia al avance del buque y se escoge el método de cálculo. El tipo de predicción es sugerido por el programa, y se escogerá el más adecuado.

Method	Speed	Hull	Details	Parameters		
Holtrop	OK	Uncertain	OK	FN [design]	0,06-0,66	0,32
Fung (HSTS)	OK	Uncertain	OK	CP	0,55-0,85	0,57
Oortmerssen	OK	Uncertain	OK	LWL/BWL	3,90-14,90	3,04 Range
Fung (CRTS)	OK	Uncertain	OK	BWL/T	2,10-4,00	2,37
UBC Series	OK	Uncertain	OK	Lambda	0,01-0,93	0,73
Roach	OK	Uncertain	Uncertain			
DeGroot (RB)	OK	Fail	OK			
DeGroot (HC)	OK	Fail	OK			
LSH Series (RB)	OK	Fail	OK			
Andersen	OK	Fail	OK			

Ranking: Best ■ Good ■ Fair ■ Poor ■

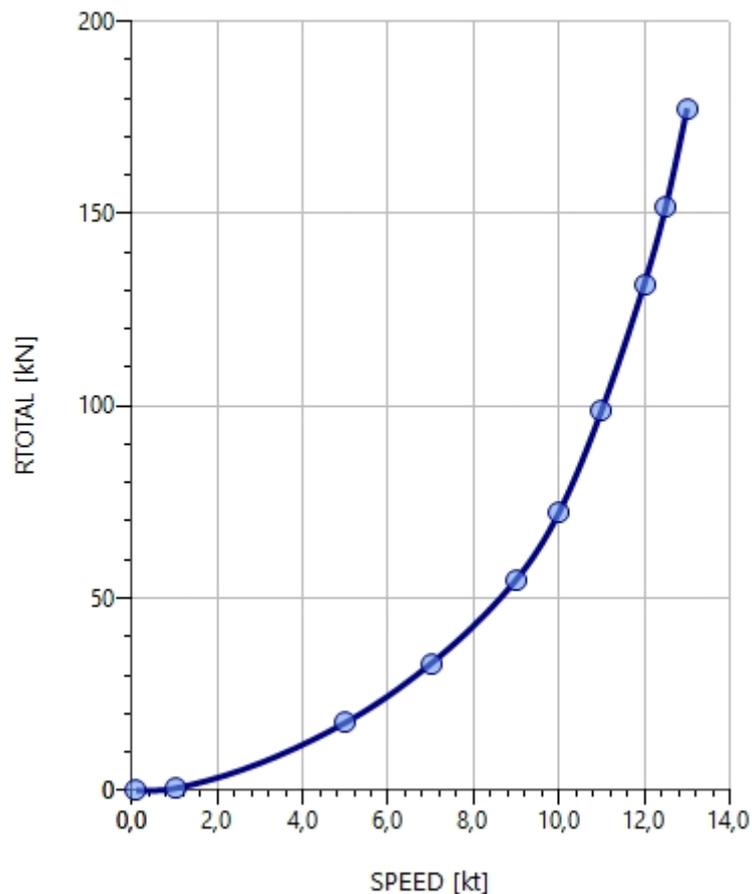
Watch for notes here...

OK Cancel Help

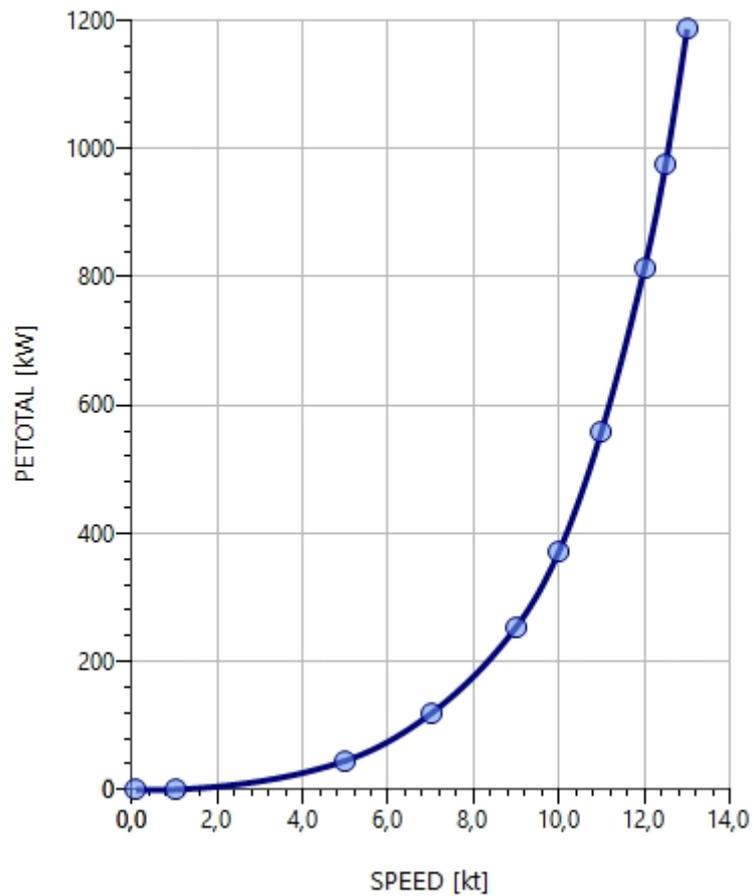
Vessel drag	Calc	ITTC-78 (CT)
Technique:		Prediction
Prediction:		Holtrop
Reference ship:		
Model LWL:	[m]	
Viscous		
Expansion:		Standard
Friction line:		ITTC-57
Hull form factor:	On	1,405
Speed corr:	On	
Spray drag corr:	Off	
Corr allowance:		ITTC-78 (v2008)
Roughness [mm]:	Off	
Catamaran		
Interference: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

Los resultados obtenidos por “NavCad” se presentan en el ANEXO.

Curva Resistencia al avance:



Curva de Potencia efectiva:



La potencia efectiva es la potencia que debe entregarse al propulsor para superar la resistencia al avance del buque, pero no es la misma que la potencia que tiene el conjunto de generadores, ya que se deben tener en cuenta diversos rendimientos.

4. PREDICCIÓN DE POTENCIA EN NAVEGACIÓN LIBRE.

A continuación, se estimará la potencia al freno en condiciones de navegación libre. El parámetro más importante a tener en cuenta es la velocidad de servicio del buque (12 nudos). El propulsor se dimensionará mediante empuje, es decir, a partir de la resistencia al avance obtenida en el apartado anterior para la misma velocidad.

Se introducen los siguientes datos del buque en “NavCad”:

Propulsor		
Count:	2	
Propulsor type:	Propeller series	
Propeller type:	FPP	
Propeller series:	B Series	
Propeller sizing:	By thrust	
Reference prop:		
Blade count:	4	
Expanded area ratio:	0,6000	
Propeller diameter:	2,900	m
Propeller mean pitch:	2,500	m
Hub immersion:	4,900	m
Engine/gear		
Drive line:	Standard	
Gear input:	Single engine	
Engine data:	Untitled Engine...	
Rated RPM:	1200	RPM
Rated power:	3000,0	kW
Primary fuel:	Defined	
Secondary fuel:	None	
Gear efficiency:	1,000	
Load correction:	Off	
Gear ratio:	5,647	
Shaft efficiency:	0,980	

En las capturas anteriores se han establecido unos parámetros del buque proyecto, en ellas podemos observar que el buque consta de dos propulsores que llevan tobera, el tipo de propulsor es FPP, y que el diámetro de la hélice es de 2,9 metros y la inmersión de la hélice es de 4,9 m.

El siguiente paso es dimensionar el propulsor y calcular la potencia al freno necesaria. Se introducirán los siguientes valores:

Propeller sizing

To size			
Gear ratio:	Size	5,647	
Expanded area ratio:	Keep	0,600	
Propeller diameter:	Keep	2,900	m
Propeller mean pitch:	Keep	2,500	m
Design condition [By thrust]			
Design speed:		12,00	kt
Reference thrust:		74	kN
Design point:		1,000	
Reference RPM:		1000,0	
Design point:		1,000	
Max prop diam:		3,500	m
Review			
Tip speed:		0,00	m/s

Size Save report OK Cancel Help

En esta ventana de “*propeller sizing*” se introduce la velocidad de diseño, el valor de empuje obtenido en el cálculo de la resistencia total, el punto de diseño y las revoluciones de referencia.

En cuanto al análisis de la propulsión en navegación libre se realiza únicamente para 4 palas, debido a que el AziPod seleccionado es de 4 palas.

La potencia al freno necesaria para la navegación del buque a la velocidad de servicio (12 nudos) es de 1330 KW.

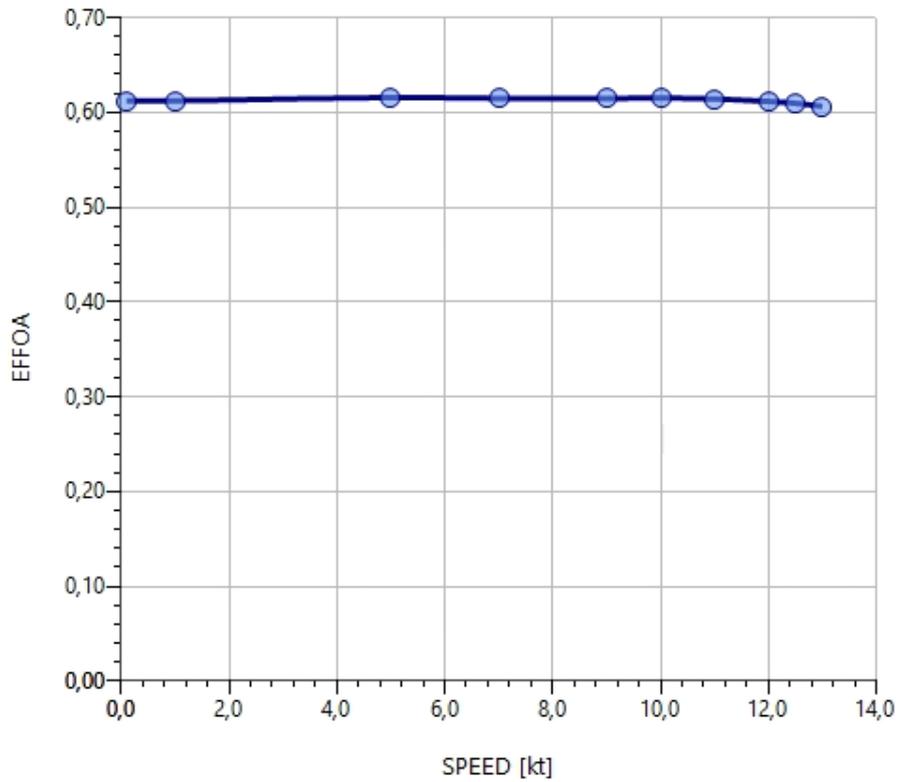
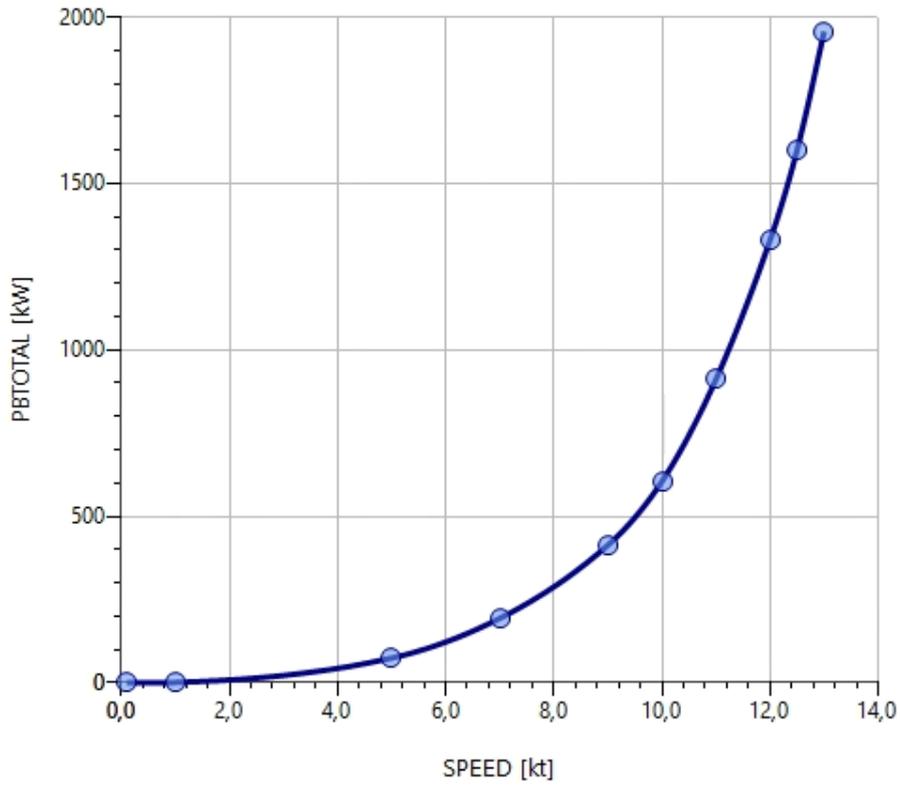
PBTOTAL
[kW]
1330,0

Se ha de tener en cuenta que es necesario aplicarle los márgenes especificados por la RPA. La RPA especifica un 85% MCR, lo que significa que el motor deberá dar la potencia exigida por la hélice al 85% de carga. Esto se traduce en sobredimensionar un 15% la potencia de freno.

$$BHP = \frac{BHP'}{MCR} = \frac{1330}{0,85} = 1564,7 \text{ kW}$$

Esta potencia es la mínima que deben proporcionar los motores al 85% de su régimen.

Los resultados obtenidos por “*NavCad*” se presentan en el ANEXO.



La potencia necesaria para el buque en condición de navegación libre a la velocidad de servicio es de:

$$Pot. Navegación = 1564,7 kW$$

5. PREDICCIÓN DE POTENCIA EN REMOLQUE.

A continuación, se realizará una predicción de potencia para obtener un valor de referencia y comprobar que los propulsores seleccionados son adecuados para los requerimientos establecidos en la RPA.

Los propulsores seleccionados tienen las siguientes características:

$$\text{Diametro de la hélice} = 2,9 \text{ m}$$

$$\text{Potencia} = 2 - 5 \text{ MW}$$

El tiro necesario del buque proyecto es de 90 TPF. El valor de potencia necesaria obtenida en el Cuaderno 1 mediante dimensionamiento es de 6022 KW.

Mediante el programa “NavCad” se comprobará si dicho valor es el adecuado para el buque proyecto, en caso de que esto no ocurra, será necesario realizar el cálculo de un nuevo valor, procediendo de forma similar a lo comentado en apartados anteriores.

El número de palas estudiadas será 4, al ser el número adecuado que se obtuvo en la predicción de potencia en navegación libre.

En primer lugar, se debe colocar el modo “Towing” en el programa para realizar la predicción de potencia en remolque.

Cavitation criteria:	Keller eqn
Analysis type:	Towing
CPP method:	Free run
Engine RPM:	Towing
Mass multiplier:	Fixed engine RPM
RPM constraint:	Acceleration
Limit (RPM/c)	Defined

La serie del propulsor elegida es Kaplan 19A KC y se comprobara en primera instancia si con los 6.022 kW, el buque es capaz de proporcionar 90 TPF.

Propulsor		
Count:	2	
Propulsor type:	Propeller series	
Propeller type:	FPP	
Propeller series:	Kaplan 19A KC	
Propeller sizing:	By power	
Reference prop:		
Blade count:	4	
Expanded area ratio:	0,6000	
Propeller diameter:	2,900	m
Propeller mean pitch:	2,500	m
Hub immersion:	4,900	m
Engine/gear		
Drive line:	Standard	
Gear input:	Single engine	
Engine data:	Untitled Engine...	
Rated RPM:	1200	RPM
Rated power:	3000,0	kW
Primary fuel:	Defined	
Secondary fuel:	None	
Gear efficiency:	1,000	
Load correction:	Off	
Gear ratio:	4,924	
Shaft efficiency:	0,980	

Para el dimensionamiento se introducirá en el software “NavCad” la potencia necesaria para proporcionar el movimiento requerido, que será de 3000 kW. Para ello se partirá de los datos obtenidos en el Cuaderno 1.

Por otro lado, para la condición de remolque, se establecerá una velocidad de diseño de 1 nudos.

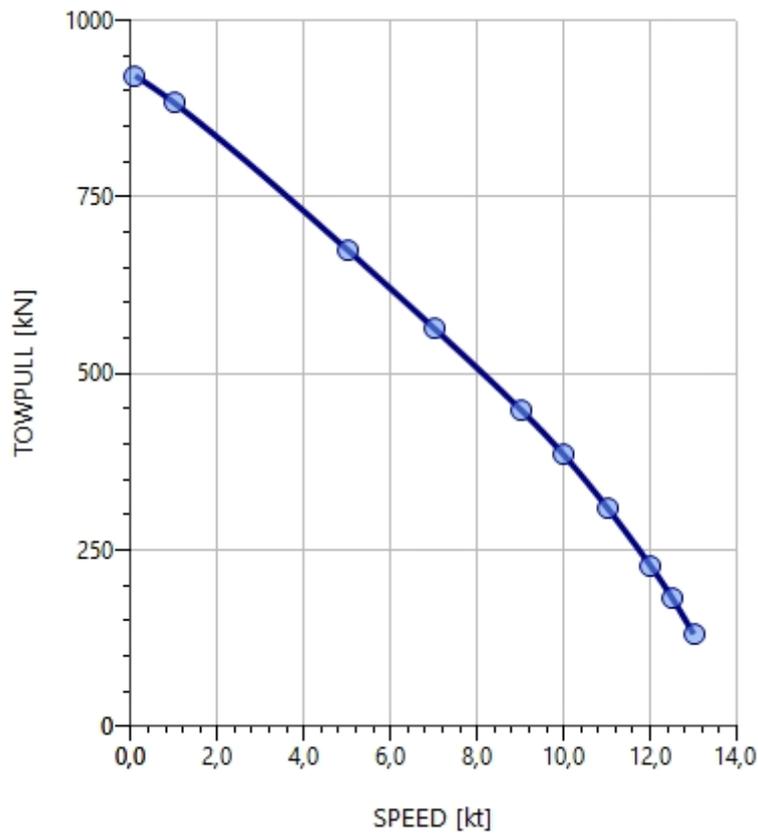
Propeller sizing

To size			
Gear ratio:	Size	4,924	
Expanded area ratio:	Keep	0,600	
Propeller diameter:	Keep	2,900	m
Propeller mean pitch:	Keep	2,500	m
Design condition [By power]			
Design speed:		1,00	kt
Reference power:		3000,0	kW
Design point:		1,000	
Reference RPM:		1000,0	
Design point:		1,000	
Max prop diam:		3,500	m
Review			
Tip speed:		0,00	m/s

Size Save report OK Cancel Help

Por último, comprobamos si con la potencia estimada se consigue un tiro de 90 TPF.

Los resultados obtenidos por “NavCad” se presentan en el ANEXO III.



El tiro a punto fijo con 3000 kW de potencia dada a una velocidad de 1 nudo es de:

TOWPULL
TOWPULL
[kN]
883

Con la serie Kaplan 19A KC, obtenemos 883 KN, con lo que obtenemos un tiro de:

$$TPF = \frac{883}{9,81} = 90,01 \text{ Tn}$$

Por lo tanto, la potencia requerida en la condición de remolque de un propulsor es de:

$$Pot. \text{ Remolque} = 3000 \text{ kW}$$

6. ELECCIÓN PROPULSIÓN AZIPOD.

Por requisitos de la RPA, los propulsores del buque serán 2 AziPods. El propulsor AziPod elegido deberá suministrar la potencia necesaria para las condiciones de navegación en aguas libres y la de remolque.

Para seleccionar los AziPods se ha realizado la predicción de potencia a remolque, obteniendo un valor de 6000 kW.

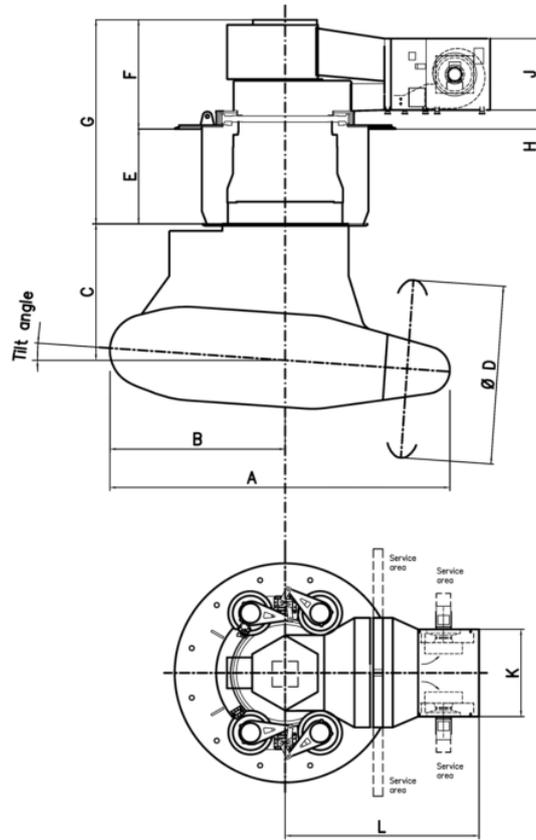
El propulsor AziPod escogido es de la marca ABB, modelo AziPod ICE, cuya información se presenta a continuación.

En la imagen que se muestra el AziPod escogido no dispone de tobera ya que es el modelo de serie, pero el modelo admite la incorporación de una tobera.

Azipod® ICE (2-5MW)

	Azipod ICE	Azipod VI1600	Azipod VI2300
	[ton]	[ton]	[ton]
Propulsion Module (excluding propeller)	35-56	118-123	220-245
Steering Module	19-24	97	140
SRU (S/Ring Unit)	1.8	3	4
CAU (Cooling Air Unit)	N / A	8,5	10
HPU (Hydraulic Power Unit)	4.2	4.5	4.5
OTU (Oil Treatment Unit)	N / A	2x0.3	2x0.3
GTU+AIU+LBU+ACU	0.02 (LBU only)	0.5	0.5
Propeller	5-10	14-18	36-40

	Azipod ICE	Azipod VI1600	Azipod VI2300
A [m]	5.2-6.2	8.5	10.6-11
B [m]	2.4-3.0	4.5	5.5-6
C [m]	2.8-2.9	3-3.2	4.2-5.3
ØD [m]	2.5-3.5	4-4.25	5.6-6
E [m]	0.7-1	1.3-1.9	1.5-3
F [m]	2	2.9	4
G [m]	2.7-3	4.7-5.3	5.5-7
H [m]	N / A	0.3-1.5	1.7
J [m]	N / A	2.25	2.5
K [m]	N / A	2.75	4.4
L [m]	N / A	6	4.5
Tilt [deg]	0	4	4



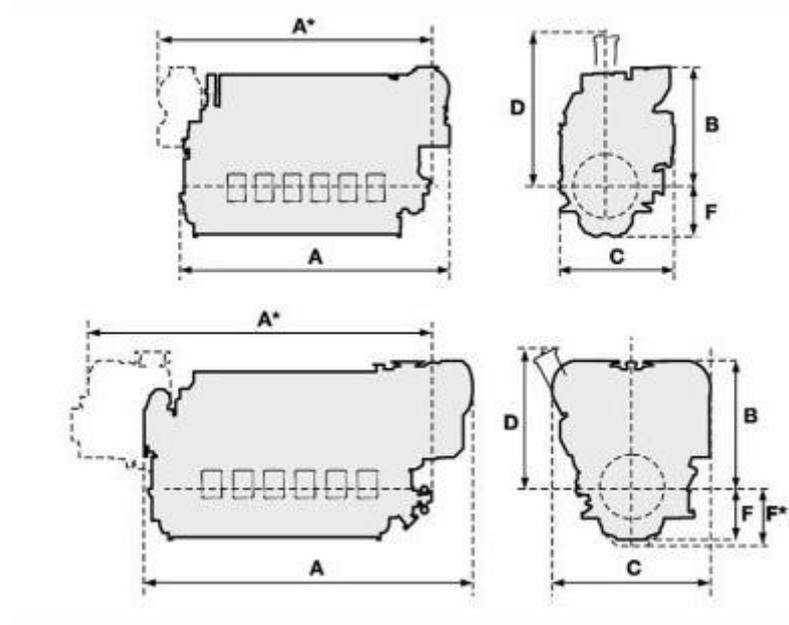
7. ELECCIÓN FINAL DEL GENERADOR.

Como se ha comentado, la potencia necesaria del buque proyecto es de 6.000 kW. El buque además de suministrar la potencia necesaria para la navegación, debe suministrar potencia a todos los equipos del buque, por esa razón, se escogen los siguientes generadores.

El motor generador seleccionado es de la marca Wärtsilä, el modelo 12V26.

Genset 26, Rated power				
Engine type	60 Hz		50 Hz	
	325 kW/cyl, 900 rpm		340 kW/cyl, 1000 rpm	
	Eng. kW	Gen. kW	Eng. kW	Gen. kW
6L26	1 950	1 870	2 040	1 960
8L26	2 600	2 495	2 720	2 610
9L26	2 925	2 810	3 060	2 940
12V26	3 900	3 745	4 080	3 915
16V26	5 200	4 990	5 440	5 220

Dimensions (mm) and weights (tonnes)							
Engine type	A*	A	B*	B	C*	C	D
6L26	4387	4130	1882	1833	1960	2020	2430
8L26	5302	5059	2023	1868	2010	2107	2430
9L26	5691	5449	2023	1868	2016	2107	2430
12V26	5442	5314	2034	2034	2552	2602	2060
16V26	6223	6025	2151	2190	2489	2763	2060



ANEXO I: Informe NavCad Resistencia al avance

Resistance

6 nov 2020 11:14

HydroComp NavCad 2018

Project ID **Tug IB**

Description

File name **Tug
IB.hcnc**

Analysis parameters

Vessel drag		ITTC-78 (CT)	Added drag	
Technique:	[Calc] Prediction		Appendage:	[Calc] Percentage
Prediction:	Holtrop		Wind:	[Off]
Reference ship:			Seas:	[Off]
Model LWL:			Shallow/channel:	[Off]
Expansion:			Towed:	[Off]
Friction line:	Standard		Margin:	[Calc] Hull + added drag
Hull form factor:	ITTC-57			[15%]
Speed corr:	[On] 1,405		Water properties	
Spray drag corr:	[On]		Water type:	Salt
Corr allowance:	[Off]		Density:	1026,0000 kg/m3
Roughness [mm]:	ITTC-78 (v2008) [Off]		Viscosity:	1,18920e-6 m2/s

Prediction method check [Holtrop]

Parameters	FN [design]	CP	LWL/BWL	BWL/T	Lambda
Value	0,32	0,57	3,04*	2,37	0,73
Range	0,06-0,66	0,55-0,85	3,90-14,90	2,10-4,00	0,01-0,93

Prediction results

SPEED [kt]	SPEED COEFS		ITTC-78 COEFS						
	FN	FV	RN	CF	[CV/CF]	CR	dCF	CA	CT
0,10 !	0,003	0,005	1,64e6	0,004220	1,405	0,000001	0,000000	-0,000957	0,004972
1,00 !	0,027	0,050	1,64e7	0,002757	1,405	0,000480	0,000000	0,000440	0,004794
5,00	0,133	0,249	8,22e7	0,002144	1,403	0,002201	0,000000	0,000739	0,005947
7,00	0,187	0,349	1,15e8	0,002042	1,393	0,002063	0,000000	0,000759	0,005665
9,00	0,240	0,449	1,48e8	0,001970	1,364	0,002246	0,000000	0,000766	0,005700
10,00	0,266	0,499	1,64e8	0,001941	1,341	0,002713	0,000000	0,000768	0,006084
11,00	0,293	0,549	1,81e8	0,001916	1,311	0,003602	0,000000	0,000768	0,006881
+ 12,00 +	0,320	0,599	1,97e8	0,001893	1,276	0,004518	0,000000	0,000767	0,007700
12,50	0,333	0,624	2,05e8	0,001882	1,257	0,005041	0,000000	0,000767	0,008174
13,00	0,346	0,649	2,14e8	0,001872	1,238	0,005750	0,000000	0,000767	0,008834
RESISTANCE									
SPEED [kt]	RBARE [kN]	RAPP [kN]	RWIND [kN]	RSEAS [kN]	RCHAN [kN]	RTOWED [kN]	RMARGIN [kN]	RTOTAL [kN]	
0,10 !	0	0	0	0	0	0	0	0	
1,00 !	0	0	0	0	0	0	0	1	
5,00	15	1	0	0	0	0	2	18	
7,00	27	1	0	0	0	0	4	33	
9,00	45	2	0	0	0	0	7	55	
10,00	60	3	0	0	0	0	9	72	
11,00	82	4	0	0	0	0	13	99	
+ 12,00 +	109	5	0	0	0	0	17	132	
12,50	126	6	0	0	0	0	20	152	
13,00	147	7	0	0	0	0	23	177	
EFFECTIVE POWER									
SPEED [kt]	PEBARE [kW]	PETOTAL [kW]	OTHER						
0,10 !	0,0	0,0	CTLR	CTLT	RBARE/W				
1,00 !	0,2	0,3	0,00001	0,05371	0,00000				
			0,00519	0,05178	0,00004				

Cuaderno 6 – REMOLCADOR ROMPEHIELOS 90 TPF
Miguel Burgos Torres

5,00	37,6	45,4	0,02377	0,06424	0,00114
7,00	98,4	118,8	0,02228	0,06119	0,00213
9,00	210,3	254,0	0,02426	0,06157	0,00354
10,00	307,9	371,8	0,02930	0,06571	0,00467
11,00	463,6	559,8	0,03890	0,07432	0,00639
+ 12,00 +	673,5	813,3	0,04880	0,08317	0,00851
12,50	808,1	975,8	0,05445	0,08829	0,00980
13,00	982,4	1186,3	0,06210	0,09542	0,01145

Report ID20201106-1114

HydroComp NavCad 2018 18.04.0073.0539.U1002

ANEXO II: Informe NavCad Propulsión en navegación

Propulsion

6 nov 2020 12:13

HydroComp NavCad 2018

Project ID **Tug IB**

Description

File name **Tug
IB.hcnc**

Analysis

parameters

Hull-propulsor interaction		System analysis	
Technique:	[Calc] Prediction	Cavitation criteria:	Keller eqn
Prediction:	Holtrop	Analysis type:	Free run
Reference ship:		CPP method:	
Max prop diam:	3,500 m	Engine RPM:	
Corrections		Mass multiplier:	
Viscous scale corr:	[On] Custom	RPM constraint:	
Rudder location:	Free stream	Limit [RPM/s]:	
Friction line:	ITTC-57	Water properties	
Hull form factor:	1,405	Water type:	Salt
Corr allowance:	0,000482	Density:	1026,0000 kg/m3
Roughness [mm]:	[Off] 0,00	Viscosity:	1,18920e-6 m2/s
Ducted prop corr:	[On]		
Tunnel stern corr:	[Off]		

Prediction method check [Holtrop]

Parameters	FN [design]	CP	LWL/BWL	BWL/T
Value	0,32	0,57	3,04*	2,37
Range	0,06-0,80	0,55-0,85	3,90-14,90	2,10-4,00

Prediction results [System]

SPEED [kt]	HULL-PROPULSOR				ENGINE			FUEL PER ENGINE	
	PETOTAL [kW]	WFT	THD	EFFR	RPMENG [RPM]	PBENG [kW]	LOADENG [% rated]	VOLRATE MASSRATE [L/h] [t/h]	
0,10 !	0,0	0,0472	0,0842	0,9745	8	0,0	0,0	---	---
1,00 !	0,3	0,0472	0,0842	0,9745	76	0,2	0,0	---	---
5,00	45,4	0,0457	0,0842	0,9745	393	36,9	1,2	---	---
7,00	118,8	0,0453	0,0842	0,9745	546	96,6	3,2	---	---
9,00	254,0	0,0450	0,0842	0,9745	703	206,6	6,9	---	---
10,00	371,8	0,0448	0,0842	0,9745	791	302,3	10,1	---	---
11,00	559,8	0,0447	0,0842	0,9745	891	455,8	15,2	---	---
+ 12,00	813,3	0,0446	0,0842	0,9745	994	665,0	22,2	---	---
+ 12,50	975,8	0,0446	0,0842	0,9745	1049	800,5	26,7	---	---
13,00	1186,3	0,0445	0,0842	0,9745	1109	978,3	32,6	---	---
SPEED [kt]	EFFICIENCY			THRUST					
	EFFO	EFFOA	MERIT	THRPROP [kN]	DELTHR [kN]				
0,10 !	0,6670	0,6122	0,29098	0	0				
1,00 !	0,6671	0,6123	0,2915	0	1				
5,00	0,6716	0,6155	0,32638	10	18				
7,00	0,6711	0,6148	0,3182	18	33				
9,00	0,6712	0,6146	0,31912	30	55				
10,00	0,6716	0,6150	0,32983	39	72				
11,00	0,6707	0,6141	0,35027	54	99				

POWER DELIVERY								
SPEED [kt]	RPMPROP [RPM]	QPROP [N·m]	QENG [N·m]	PDPROP [kW]	PSPROP [kW]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	TRANSP
+ 12,00	0,6680	0,6115	0,369	72	132			
+ 12,50	0,6659	0,6095	0,37895	83	152			
13,00	0,6624	0,6063	0,39186	97	177			
0,10 !	1	1,62	0,29	0,0	0,0	0,0	0,0	---
1,00 !	13	162,65	28,80	0,2	0,2	0,5	0,5	---
5,00	70	4831,52	855,55	36,2	36,9	73,8	73,8	446,9
7,00	97	9107,60	1612,75	94,7	96,6	193,2	193,2	239,1
9,00	125	15132,37	2679,60	202,5	206,6	413,2	413,2	143,7
10,00	140	19691,38	3486,90	296,3	302,3	604,6	604,6	109,1
11,00	158	26357,44	4667,31	446,7	455,8	911,6	911,6	79,6
+ 12,00	176	34451,17	6100,52	651,7	665,0	1330,0	1330,0	59,5
+ 12,50	186	39310,32	6960,97	784,5	800,5	1601,0	1601,0	51,5
13,00	196	45414,94	8041,96	958,8	978,3	1956,7	1956,7	43,8

Report ID20201106-1213

HydroComp NavCad 2018 18.04.0073.0539.U1002

Prediction results [Propulsor]

CAVITATION									
SPEED [kt]	SIGMAV	SIGMAN	SIGMA07R	TIPSPEED [m/s]	MINBAR	PRESS [kPa]	CAVAVG [%]	CAVMAX [%]	PITCHFC [m]
0,10 !	120830,23	69165,63	12788,26	0,20	0,050	0,00	2,0	2,0	2,386
1,00 !	1208,30	690,95	127,76	2,04	0,050	0,08	2,0	2,0	2,385
5,00	48,18	25,60	4,77	10,58	0,071	2,43	2,0	2,0	2,339
7,00	24,56	13,28	2,47	14,69	0,087	4,54	2,0	2,0	2,350
9,00	14,85	8,02	1,49	18,91	0,111	7,56	2,0	2,0	2,349
10,00	12,02	6,34	1,18	21,26	0,130	9,96	2,0	2,0	2,335
11,00	9,93	5,00	0,94	23,95	0,161	13,63	2,0	2,0	2,307
+ 12,00	8,35	4,01	0,75	26,73	0,197	18,15	2,0	2,0	2,281
+ 12,50	7,69	3,60	0,68	28,20	0,220	20,91	2,0	2,0	2,267
13,00	7,11	3,22	0,61	29,83	0,248	24,44	2,0	2,0	2,248

PROPULSOR COEFS								
SPEED [kt]	J	KT	KQ	KT/J2	KQ/J3	CTH	CP	RNPROP
0,10 !	0,7566	0,0856	0,01545	0,14948	0,03567	0,38066	0,58566	1,27e5
1,00 !	0,7562	0,0858	0,01547	0,14996	0,035777	0,38187	0,58741	1,27e6
5,00	0,7289	0,0986	0,01703	0,18551	0,043963	0,47239	0,72183	6,56e6
7,00	0,7355	0,0955	0,01666	0,17655	0,041867	0,44958	0,68741	9,12e6
9,00	0,7347	0,0958	0,01670	0,17753	0,042096	0,45208	0,69117	1,17e7
10,00	0,7261	0,0999	0,01718	0,18942	0,044885	0,48234	0,73697	1,32e7
11,00	0,7092	0,1077	0,01813	0,21419	0,050823	0,54542	0,83447	1,48e7
+ 12,00	0,6932	0,1152	0,01902	0,23965	0,057098	0,61027	0,93749	1,65e7
+ 12,50	0,6845	0,1192	0,01950	0,25438	0,060803	0,64778	0,99832	1,74e7
13,00	0,6729	0,1245	0,02013	0,2749	0,066053	0,70002	1,0845	1,84e7

Report ID20201106-1213

HydroComp NavCad 2018 18.04.0073.0539.U1002

ANEXO III: Informe NavCad Propulsión en remolque

Propulsion

6 nov 2020 12:00

HydroComp NavCad 2018

Project ID **Tug IB**

Description

File name **Tug
IB.hcnc**

Analysis parameters

Hull-propulsor interaction		System analysis	
Technique:	[Calc] Prediction	Cavitation criteria:	Keller eqn
Prediction:	Holtrop	Analysis type:	Towing
Reference ship:		CPP method:	
Max prop diam:	3,500 m	Engine RPM:	
Corrections		Mass multiplier:	
Viscous scale corr:	[On] Custom	RPM constraint:	
Rudder location:	Free stream	Limit [RPM/s]:	
Friction line:	ITTC-57	Water properties	
Hull form factor:	1,405	Water type:	Salt
Corr allowance:	0,000482	Density:	1026,0000 kg/m3
Roughness [mm]:	[Off] 0,00	Viscosity:	1,18920e-6 m2/s
Ducted prop corr:	[On]		
Tunnel stern corr:	[Off]		

Prediction method check [Holtrop]

Parameters	FN [design]	CP	LWL/BWL	BWL/T
Value	0,03*	0,57	3,04*	2,37
Range	0,06..0,80	0,55..0,85	3,90..14,90	2,10..4,00

Prediction results [System]

SPEED D [kt]	HULL-PROPULSOR				ENGINE			FUEL PER ENGINE	
	PETOTAL L [kW]	WFT	THD	EFFR	RPMENG [RPM]	PBENG [kW]	LOADEN G [% rated]	VOLRATE [L/h]	MASSRATE [t/h]
0,10 !	0,0	0,0472	0,0842	0,9745	1187	2968,4	98,9	---	---
+ 1,00	0,3	0,0472	0,0842	0,9745	1192	2982,3	99,4	---	---
! +									
5,00	45,4	0,0457	0,0842	0,9745	1200	2848,0	94,9	---	---
7,00	118,8	0,0453	0,0842	0,9745	1200	2705,7	90,2	---	---
9,00	254,0	0,0450	0,0842	0,9745	1200	2528,2	84,3	---	---
10,00	371,8	0,0448	0,0842	0,9745	1200	2424,9	80,8	---	---
11,00	559,8	0,0447	0,0842	0,9745	1200	2310,7	77,0	---	---
12,00	813,3	0,0446	0,0842	0,9745	1200	2184,4	72,8	---	---
12,50	975,8	0,0446	0,0842	0,9745	1200	2116,3	70,5	---	---
13,00	1186,3	0,0445	0,0842	0,9745	1200	2044,5	68,1	---	---
SPEED D [kt]	EFFICIENCY			THRUST					
	EFFO	EFFOA	MERIT	THRPROP DELTHR [kN]	TOWPUL [kN]	L			
0,10 !	0,0087	0,0080	1,5301	503	922	922			
+ 1,00	0,0831	0,0762	1,4299	483	884	883			
! +									
5,00	0,3413	0,3128	1,0388	378	693	675			
7,00	0,4338	0,3974	0,87512	326	597	564			
9,00	0,5038	0,4614	0,72594	275	504	449			

10,00	0,5295	0,4848	0,65384	250	457	385			
11,00	0,5474	0,5012	0,58149	223	409	310			
12,00	0,5556	0,5086	0,50726	197	360	228			
12,50	0,5550	0,5080	0,46888	183	334	183			
13,00	0,5506	0,5040	0,42935	168	308	131			
POWER DELIVERY									
SPEED D [kt]	RPMPRO P [RPM]	QPROP [N·m]	QENG [N·m]	PDPROP [kW]	PSTOTA L [kW]	PBTOTA L [kW]	TRANS P		
0,10 !	241	112327,15	22812,77	2909,0	2968,4	5936,8	5936,8	0,0	
+ 1,00 ! +	242	112310,69	22809,43	2922,6	2982,3	5964,6	5964,6	0,0	
5,00	244	106572,32	21644,01	2791,1	2848,0	5696,1	5696,1	0,0	
7,00	244	101246,70	20562,42	2651,6	2705,7	5411,5	5411,5	0,0	
9,00	244	94604,00	19213,34	2477,6	2528,2	5056,4	5056,4	0,0	
10,00	244	90737,44	18428,07	2376,4	2424,9	4849,8	4849,8	0,0	
11,00	244	86464,42	17560,25	2264,5	2310,7	4621,4	4621,4	0,0	
12,00	244	81739,12	16600,58	2140,7	2184,4	4368,8	4368,8	0,0	
12,50	244	79189,07	16082,68	2073,9	2116,3	4232,5	4232,5	0,0	
13,00	244	76502,85	15537,13	2003,6	2044,5	4088,9	4088,9	0,0	

Report ID20201106-1200

HydroComp NavCad 2018 18.04.0073.0539.U1002

Prediction results [Propulsor]

SPEED D [kt]	CAVITATION								
	SIGMAV	SIGMAN	SIGMA07R	TIPSPEED [m/s]	MINBAR	PRES S [kPa]	CAVAV G [%]	CAVMA X [%]	PITCHF C [m]
0,10 !	120830,23	2,14	0,44	36,59 !!	0,607	64,17 !	8,2	8,2	1,523
+ 1,00 ! +	1208,30	2,12	0,44	36,77 !!	0,603	63,94 !	8,0	8,0	1,540
5,00	48,18	2,09	0,43	37,01 !!	0,558	59,67 !	6,5	6,5	1,637
7,00	24,56	2,09	0,43	37,01 !!	0,523	55,93	5,3	5,3	1,703
9,00	14,85	2,09	0,42	37,01 !!	0,480	51,17	4,0	4,0	1,780
10,00	12,02	2,09	0,42	37,01 !!	0,455	48,36	3,3	3,3	1,822
11,00	9,93	2,09	0,41	37,01 !!	0,427	45,24	2,7	2,7	1,866
12,00	8,35	2,09	0,41	37,01 !!	0,397	41,80	2,2	2,2	1,912
12,50	7,69	2,09	0,41	37,01 !!	0,381	39,94	2,0	2,0	1,935
13,00	7,11	2,09	0,41	37,01 !!	0,364	38,00	2,0	2,0	1,957
PROPULSOR COEFS									
SPEED D [kt]	J	KT	KQ	KT/J2	KQ/J3	CTH	CP	RNPRO P	KTN
0,10 !	0,0042	0,4299	0,03309	24277	443980	61821	7289600	2,15e7	0,2127 !!
+ 1,00 ! +	0,0419	0,4083	0,03276	232,78	446,05	592,78	7323,7	2,16e7	0,1939 !!
5,00	0,2084	0,3159	0,03069	7,2745	3,392	18,524	55,693	2,18e7	0,1184 !!
7,00	0,2919	0,2723	0,02916	3,1965	1,1728	8,1397	19,256	2,19e7	0,0872 !!
9,00	0,3754	0,2298	0,02725	1,6306	0,5151	4,1522	8,4574	2,20e7	0,0604
10,00	0,4172	0,2084	0,02613	1,1977	0,36002	3,0499	5,9111	2,21e7	0,0483
11,00	0,4589	0,1866	0,02490	0,88623	0,25766	2,2568	4,2305	2,21e7	0,0369
12,00	0,5007	0,1641	0,02354	0,65474	0,18756	1,6673	3,0796	2,22e7	0,0258
12,50	0,5216	0,1525	0,02281	0,56055	0,16074	1,4274	2,6392	2,23e7	0,0203
13,00	0,5425	0,1405	0,02203	0,47754	0,13803	1,2161	2,2664	2,23e7	0,0148

Report ID20201106-1200

HydroComp NavCad 2018 18.04.0073.0539.U1002