



13-P6

Trabajo Fin de Grado: Petrolero de Crudo 280.000TPM



Cuaderno N°1

Elección de la Cifra de Mérito y
Definición de Alternativas.
Selección de la Alternativa más
Favorable.

Mónica M^a Rodríguez Lapido

Grado en Propulsión y Servicios del Buque

07/10/2014



1.	DESCRIPCIÓN DEL BUQUE A PROYECTAR.	5
1.1.	CONDICIONES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO.	6
1.2.	BUQUES DE REFERENCIA.	8
1.2.1.	DATOS DE LOS BUQUES DE REFERENCIA.	10
1.2.2.	RELACIONES ENTRE DIMENSIONES.	10
2.	CÁLCULO PRELIMINAR DE LAS DIMENSIONES PRINCIPALES.	16
2.1.	COEFICIENTE DE BLOQUE INICIAL.	16
2.2.	DESPLAZAMIENTO.	16
2.3.	ESLORA ENTRE PERPENDICULARES.	17
2.3.1.	MÉTODO DE LA REGRESIÓN.	17
2.3.2.	MÉTODO DE JAEGGER.	17
2.3.3.	MÉTODO DE VÖLKER.	17
2.3.4.	MÉTODO DE NOGID.	17
2.3.5.	MÉTODO DE LUNA.	17
2.3.6.	RESULTADO PRELIMINAR.	19
2.4.	ESLORA TOTAL.	19
2.5.	MANGA DE TRAZADO.	20
2.5.1.	MÉTODO DE LA REGRESIÓN.	20
2.5.2.	RESULTADO PRELIMINAR.	20
2.6.	COEFICIENTE DE BLOQUE.	21
2.6.1.	MÉTODO DE MUNRO - SMITH.	21
2.6.2.	MÉTODO DE ALEXANDER.	21
2.6.3.	MÉTODO DE SCHNEEKLUTH.	22
2.6.4.	MÉTODO DE VAN LAMMEREN.	22
2.6.5.	RESULTADO PRELIMINAR.	22
2.7.	COEFICIENTE DE LA MAESTRA.	23
2.7.1.	MÉTODO DE VAN LAMMEREN.	23
2.7.2.	MÉTODO DE KERLEN.	23
2.7.3.	MÉTODO DE SCHNEEKLUTH Y MURRAY.	23
2.7.4.	MÉTODO DE HOLLENBACH.	24



2.7.5.	RESULTADO PRELIMINAR.....	24
2.8.	COEFICIENTE PRISMÁTICO.....	25
2.8.1.	MÉTODO DE TROOST.	25
2.8.2.	RELACIÓN ENTRE COEFICIENTES.....	25
2.8.3.	RESULTADO PRELIMINAR.....	25
2.9.	COEFICIENTE DE LA FLOTACIÓN.....	26
2.9.1.	MÉTODO DE LUNA.	26
2.9.2.	MÉTODO DE SCHNEEKLUTH.....	26
2.9.3.	MÉTODO DE SCHNEEKLUTH Y MURRAY	26
2.9.4.	RESULTADO PRELIMINAR.....	27
2.10.	PUNTAL.....	27
2.10.1.	PRIMERA REGRESIÓN.....	27
2.10.2.	SEGUNDA REGRESIÓN.....	27
2.10.3.	RESULTADO PRELIMINAR.....	28
2.11.	VOLUMEN DE CARGA.....	28
2.12.	FRANCOBORDO.....	29
2.12.1.	FRANCOBORDO TABULAR.....	29
2.12.2.	CORRECCIÓN POR PUNTAL.....	29
2.12.3.	CORRECCIÓN POR SUPERESTRUCTURAS.....	29
2.12.4.	CORRECCIÓN POR ARRUFO.....	29
2.12.5.	VALOR DEL FRANCOBORDO CALCULADO.....	30
2.12.6.	VALOR DEL FRANCOBORDO POR EL PROGRAMA SHIPSHAPE.....	30
2.13.	CALADO MÁXIMO.....	32
2.13.1.	PRIMERA REGRESIÓN.....	32
2.13.2.	SEGUNDA REGRESIÓN.....	32
2.13.3.	TERCERA REGRESIÓN.....	32
2.13.4.	MÉTODO DE MURRAY.....	32
2.13.5.	CALADO A PARTIR DEL FRANCOBORDO CALCULADO.....	33
2.13.6.	CALADO A PARTIR DEL FRANCOBORDO OBTENIDO CON SHIPSHAPE.....	33
2.13.7.	CALADO A PARTIR DE DIMENSIONES BÁSICAS CALCULADAS.....	33
2.13.8.	RESULTADO PRELIMINAR.....	34



2.13.9.	CALADO DE SUEZ.	35
2.14.	PREDICCIÓN DE POTENCIA.....	36
2.15.	DIMENSIONES PRELIMINARES DEL BUQUE EN PROYECTO.	38
3.	CÁLCULO DE LA CIFRA DE MÉRITO.	39
4.	COMPROBACIÓN DE LOS CÁLCULOS OBTENIDOS.	48
4.1.	FRANCOBORDO.	48
5.	DESCRIPCIÓN DEL BUQUE.....	50
6.	DISPOSICIÓN GENERAL Y CUADERNA MAESTRA. COMPROBACIÓN DE LOS CÁLCULOS OBTENIDOS.....	51
6.1.	DISPOSICIÓN GENERAL.....	51
6.2.	CUADERNA MAESTRA.....	51
ANEXO 1: Predicción Preliminar de la Potencia .		
ANEXO 2: Diesel Generadores. Selección Preliminar.		
ANEXO 3: Selección de la Alternativa más Favorable.		

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

GRADO EN INGENIERÍA DE PROPULSIÓN Y SERVICIOS DEL BUQUE

CURSO 2.012-2013

PROYECTO NÚMERO 13-P6

TIPO DE BUQUE : BUQUE TANQUE DE CRUDOS

CLASIFICACIÓN , COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN : DNV, SOLAS, MARPOL

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: Crudos de petróleo 280000 T.P.M.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA : 16,0 nudos en condiciones de servicio. 85 % MCR+ 15% de margen de mar. 18.000 millas a la velocidad de servicio.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA : Bombas de carga y descarga en cámara de bombas. Calefacción en tanques de carga.

PROPULSIÓN : Un motor diesel acoplado a una hélice de paso fijo

TRIPULACIÓN Y PASAJE : 30 Personas en camarotes individuales. Cabina personal de Suez

Ferrol, Febrero de 2.013

ALUMNO : D^a. Mónica M^a Rodríguez Lapido.



1. DESCRIPCIÓN DEL BUQUE A PROYECTAR.

TIPO DE BUQUE: BUQUE TANQUE DE CRUDOS

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: DNV, SOLAS, MARPOL

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: Crudos de petróleo 280000 T.P.M.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 16,0 nudos en condiciones de servicio. 85 % MCR+ 15% de margen de mar. 18.000 millas a la velocidad de servicio.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Bombas de carga y descarga en cámara de bombas. Calefacción en tanques de carga.

PROPULSIÓN: Un motor diesel acoplado a una hélice de paso fijo.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 30 Personas en camarotes individuales. Cabina personal de Suez.



1.1. CONDICIONES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO.

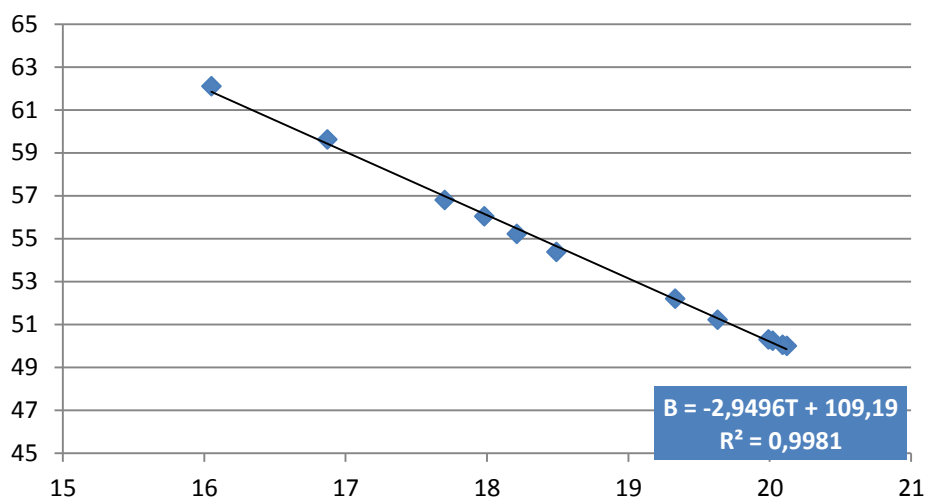
Los buques VLCC son diseñados para el transporte de un gran volumen de crudo desde los puntos de producción, hasta las refinerías de destino. En nuestro caso consideraremos que la extracción se producirá en las plataformas situadas en el Golfo Pérsico y el destino en cualquier refinería dentro de su alcance de 18000 mn.

Un buque de transporte de crudo puede seguir dos rumbos entre los mencionados puntos de carga y de destino. La primera opción, y también la que mayor recorrido supone es navegar por el cabo de Las Agujas para alcanzar América y Europa, la segunda opción es atravesar el canal de Suez acortando así la travesía.

Por ejemplo, la diferencia entre una u otra ruta hasta un puerto europeo se traduce en aproximadamente 8.200 mn más si rodea el continente africano por el cabo que si pasa al Mediterráneo a través de Suez. Sin embargo, el canal de Suez tiene unas determinadas restricciones que deberán ser tenidas en cuenta en el dimensionamiento del buque.

Eslora L_{max}	Sin limitación	Calado T_{max}	Función de la manga. Ver Gráfico.
Manga B_{max}	74,676 m.	Altura total	66 m.

Manga - Calado



Sobre estas limitaciones conviene indicar lo siguiente:

1. El hecho de que una dimensión se encuentre limitada no significa que el valor máximo de esa dimensión sea el más adecuado, si bien los petroleros VLCC tienden a la mayor manga posible.



2. Las limitaciones de calado se refieren siempre al calado máximo y no al calado medio por lo que deberemos tomar un margen en el calado medio para tener en cuenta el asiento.

Como conclusiones sobre las condiciones del proyecto podemos obtener lo siguiente:

1. La eslora máxima será la media de los valores obtenidos por regresión sobre los buques de referencia y los valores obtenidos por estudios paramétricos, y de la aplicación directa de fórmulas.
2. La manga máxima será menor que la permitida por la restricción y obtenida por los citados estudios paramétricos y aplicación de fórmulas.
3. El calado no es restricción ya que puede variar. El buque adaptará su condición de carga correspondiente para su navegación por el canal.
4. Los valores máximos de cada una de estas dimensiones, incluyendo las afectadas por la restricción del Canal de Suez, los definiremos una vez hayamos realizado los estudios referidos en 1) y 2).



1.2. BUQUES DE REFERENCIA.

BUQUE	DW (t)	DESP	Lpp (m)	Lt (m)	B (m)	D (m)	T (m)	LxBxD	L/B	T/D	V (kn)	Fn
Golar Stirling	282030	338079	320,00	332,00	58,00	31,00	20,80	596936,00	5,5172	0,6710	15,5	0,14247
Lion City River	105865	121808	232,00	241,03	42,00	21,20	14,90	214613,11	5,5238	0,7028	14,5	0,15653
Idemitsu Maru	300433	342275	325,00	333,00	60,00	29,00	20,54	579420,00	5,4167	0,7081	16,0	0,14593
Kiowa Spirit	113269	131041	240,14	249,00	44,00	21,20	14,62	232267,20	5,4577	0,6896	14,6	0,15491
Isuzugawa	299984	341747	320,00	333,00	60,00	29,60	20,83	591408,00	5,3333	0,7038	16,9	0,15534
Jade Palms	298306	341108	320,00	332,00	58,00	31,00	20,80	596936,00	5,5172	0,6710	16,0	0,14707
Samho Crown	300000	342998	314,00	330,27	58,00	31,00	22,20	593825,46	5,4138	0,7161	14,7	0,13640
Humanity	299990	339326	316,00	330,00	60,00	28,90	19,10	572220,00	5,2667	0,6609	16,1	0,14892
Overseas Raphael	308700	352990	320,00	335,00	58,00	31,00	22,70	602330,00	5,5172	0,7323	15,2	0,13971
Maritime Jewel	299364	341097	320,00	332,00	58,00	31,00	22,02	596936,00	5,5172	0,7103	15,8	0,14523
DHT Eagle	309064	350849	318,00	333,27	58,00	31,25	21,00	604051,88	5,4828	0,6720	15,9	0,14661
Donat	140000	190039	261,42	269,50	43,20	23,80	17,10	277089,12	6,0514	0,7185	15,5	0,15763
Artois	298330	339136	321,34	332,94	60,00	29,55	21,10	590302,62	5,3557	0,7140	16,0	0,14676
Atlas Valor	107181	123877	235,00	246,80	42,00	21,30	14,78	220787,28	5,5952	0,6939	15,0	0,16089
DS Venture	297345	339134	316,00	330,00	60,00	29,70	21,50	588060,00	5,2667	0,7239	14,0	0,12950
Front Century	280868	352992	320,00	334,45	58,00	31,00	20,97	601341,10	5,5172	0,6765	15,6	0,14339



BUQUE	Pot. (BHP)	r.p.m	CALDERA	TANQUES		BOMBAS de CARGA/DESCARGA		CB	Clasificación
				NUMERO	CAPACIDAD (m ³)	NUMERO	CAPACIDAD (m ³ /h)		
Golar Stirling	35490	81	SI	14+2 slops	354685	3	5500	0,83	D.N.V.
Lion City River	16000	101	SI	n.d	122113	3	2500	0,85	N.K.K.
Idemitsu Maru	36927	74	SI	n.d	350010	3	5500	0,82	N.K.K.
Kiowa Spirit	18414	105	SI	n.d	129219	3	2800	0,83	N.K.K.
Isuzugawa	36927	74	SI	n.d	348228	3	5000	0,83	N.K.K.
Jade Palms	35686	73,4	SI	15+2 slops	330787	3	5000	0,83	LI.R.S.
Samho Crown	33290	78	SI	15+2 slops	345096	3	5000	0,86	LI.R.S.
Humanity	36960	74	SI	15+2 slops	328458	3	5000	0,80	N.K.K.
Overseas Raphael	34650	79	SI	15+2 slops	349600	3	5000	0,85	LI.R.S.
Maritime Jewel	34560	79	SI	15+2slops	347593	3	5000	0,82	LI.R.S.
DHT Eagle	27168	79	SI	15+2 slops	333214	3	5500	0,78	A.B.S.
Donat	18300	80	SI	12+2 slops	164263	3	3500	0,85	B.V.
Artois	34620	79	SI	15+2 slops	338595	3	5500	0,81	B.V.
Atlas Valor	17837	102	SI	15+2 slops	89877	3	2500	0,77	B.V.
DS Venture	30307	76	SI	15+2 slops	324600	6	5500	0,78	D.N.V.
Front Century	34650	79	SI	15+2 slops	343062	3	5000	0,82	LI.R.S



1.2.1. DATOS DE LOS BUQUES DE REFERENCIA.

www.aukevisser.nl

<http://www.grosstonnage.com>

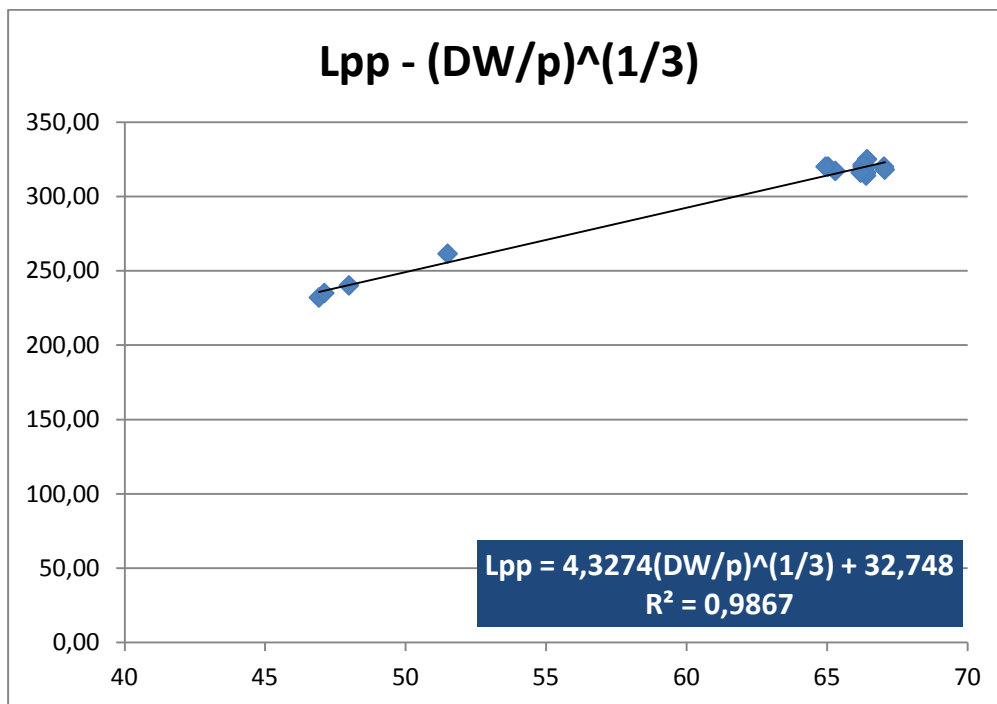
www.cargo-vessels-international.at

www.classnk.or.jp

www.lrshipsinclass.lrfairplay.com

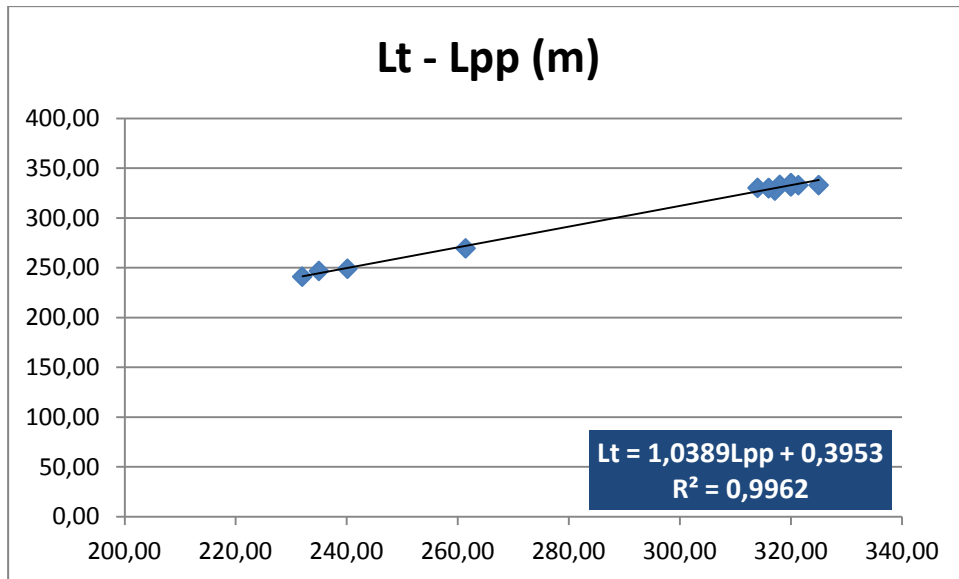
1.2.2. RELACIONES ENTRE DIMENSIONES.

1.2.2.1. ESLORA ENTRE PERPENDICULARES Y PESO MUERTO.

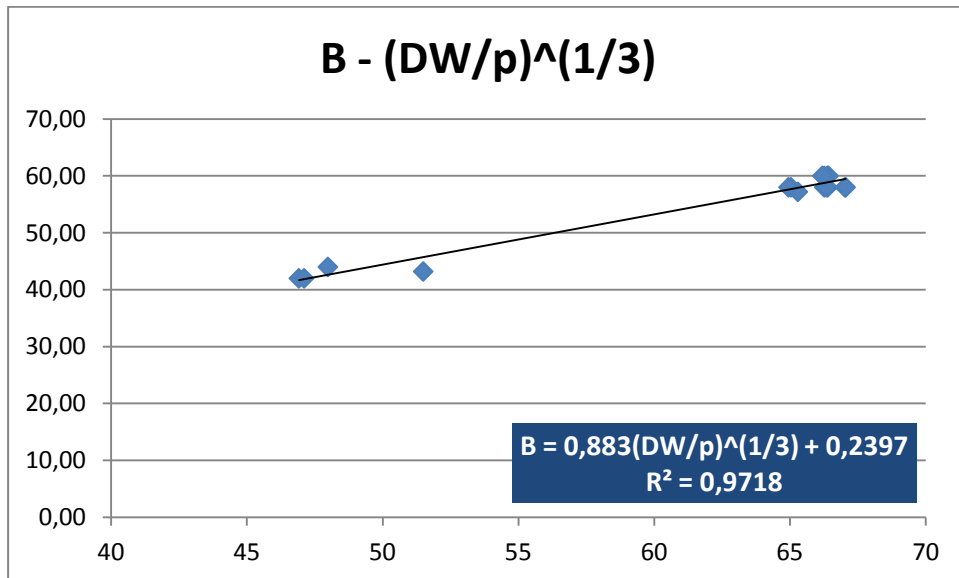




1.2.2.2. *ESLORA TOTAL Y ESLORA ENTRE PERPENDICULARES.*

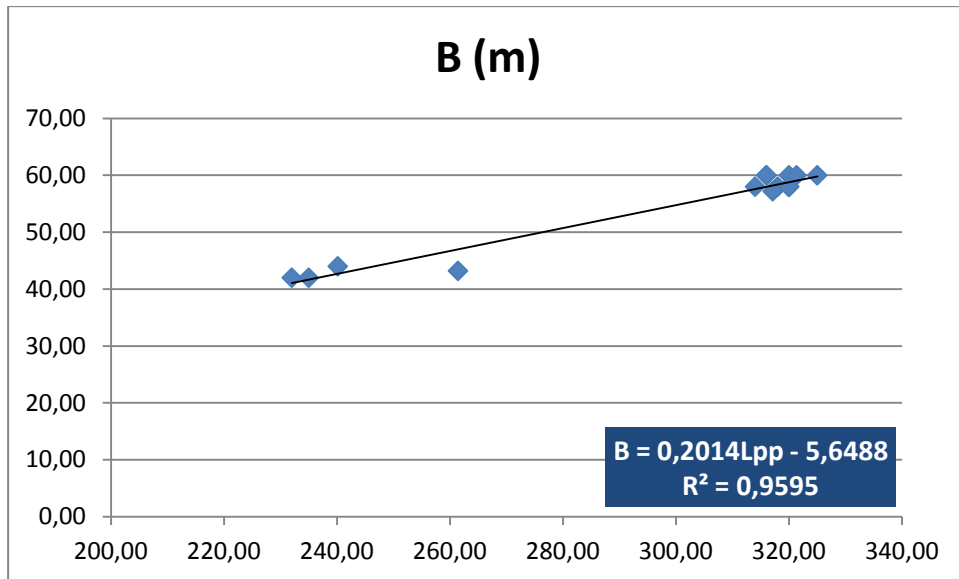


1.2.2.3. *MANGA Y PESO MUERTO.*

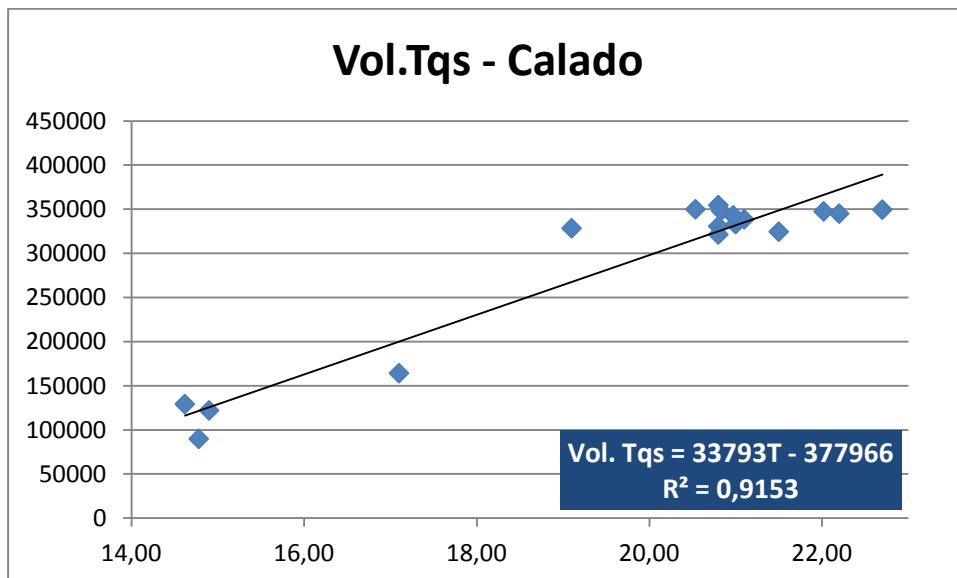




1.2.2.4. MANGA Y ESLORA ENTRE PERPENDICULARES.

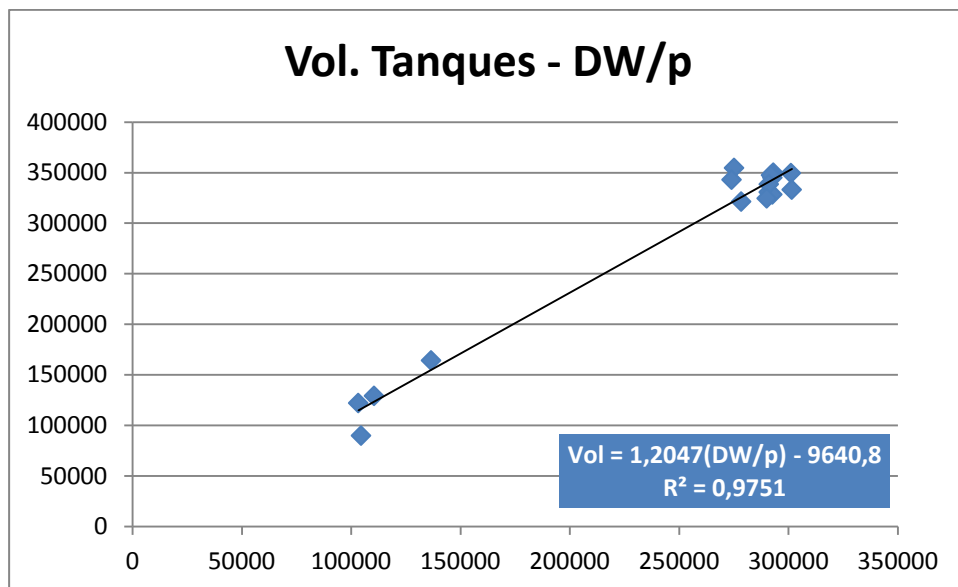


1.2.2.5. CALADO Y VOLUMEN DE TANQUES.

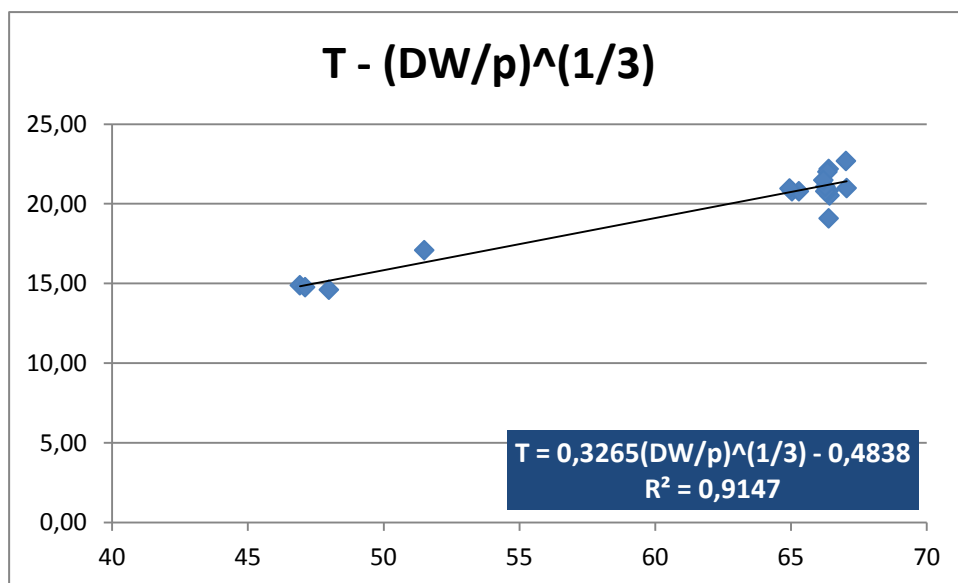




1.2.2.6. PESO MUERTO Y VOLUMEN DE TANQUES.

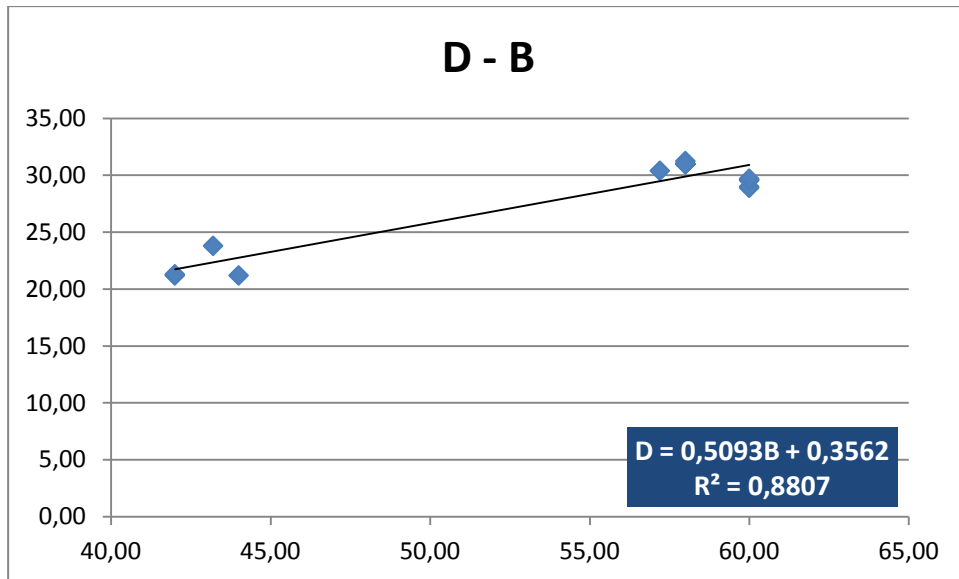


1.2.2.7. CALADO Y PESO MUERTO.

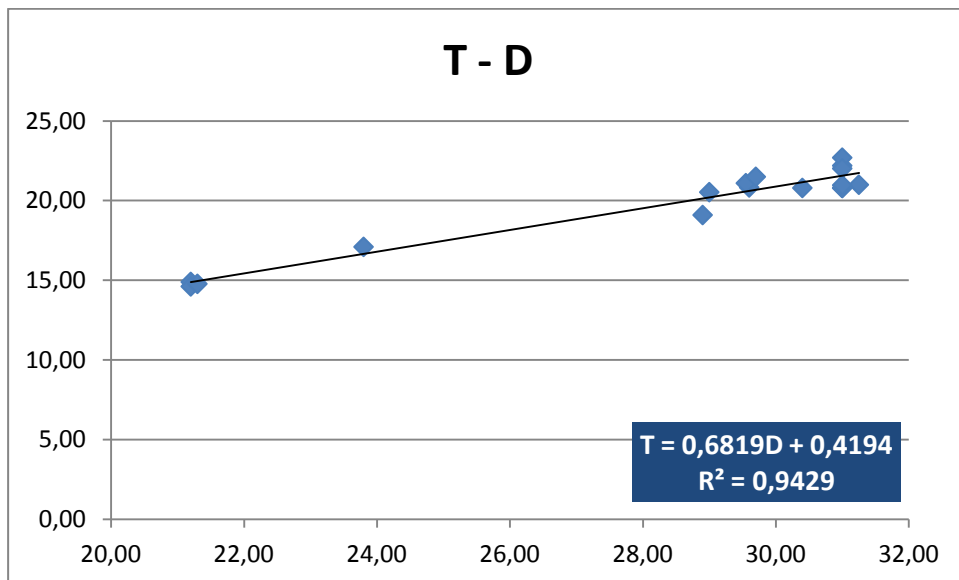




1.2.2.8. PUNTAL Y MANGA.

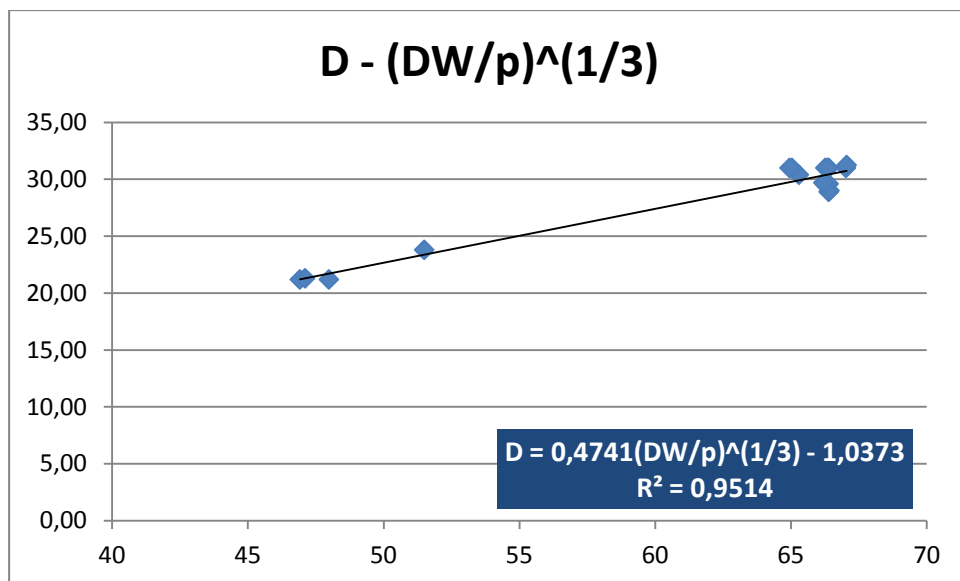


1.2.2.9. CALADO Y PUNTAL.

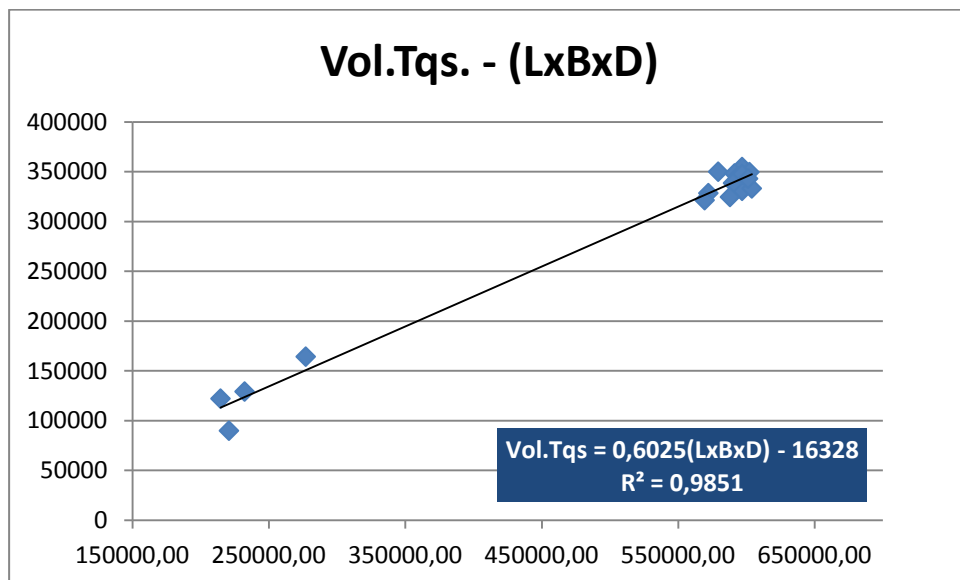




1.2.2.10. PUNTAL Y PESO MUERTO.



1.2.2.11. VOLUMEN DEL PARALELEPÍPEDO CIRCUNSCRITO (LxBxD) Y VOLUMEN DE TANQUES.





2. CÁLCULO PRELIMINAR DE LAS DIMENSIONES PRINCIPALES.

Este cálculo lo realizaremos mediante la aplicación de dos métodos diferentes:

1. por regresión sobre los buques de referencia
2. por aplicación directa de fórmulas

Como buque base tomaremos el Golar Stirling. Aunque actualmente ha sido convertido a unidad FPSU, originalmente fue un petrolero VLCC de doble casco y propulsión diesel semejante al que ocupa este proyecto.

BUQUE	DW (t)	DES (t)	Lpp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	C _B
Golar Stirling	282030	338079	320,00	58,00	31,00	20,80	0,83

2.1. COEFICIENTE DE BLOQUE INICIAL.

Para un cálculo inicial, tomaremos el coeficiente de bloque del buque base, $C_B = 0,83$.

2.2. DESPLAZAMIENTO.

Calculamos el desplazamiento como

$$DESP = DESP_B (DW/DW_B)$$

siendo

$DESP_B$ el desplazamiento del buque base para el calado de diseño.

DW_B el peso muerto del buque base.

DW el peso muerto de proyecto.

Por lo tanto, el desplazamiento del buque en proyecto resulta

$$338079 \cdot (280000/282030) = \mathbf{335645,60 t.}$$



2.3. ESLORA ENTRE PERPENDICULARES.

2.3.1. MÉTODO DE LA REGRESIÓN.

Aplicamos la regresión obtenida en el punto 1.2.2.1:

$$L_{pp} = 4,3274 \left(\frac{DW}{\rho} \right)^{1/3} + 32,748$$

para el peso muerto de proyecto, $DW = 280000$ t

$$L_{pp} = 4,3274 \left(\frac{280000}{1,025} \right)^{1/3} + 32,748 = \mathbf{313,53 \text{ m}}$$

2.3.2. MÉTODO DE JAEGER.

$$\sqrt{L} = (p + q)^{1/3} + (p - q)^{1/3}$$

donde

$$p = \frac{5}{6} \Delta^{1/3} \cdot v \quad , \quad \gamma$$

$q = \frac{5}{6} \Delta^{1/3} \left(v^2 - 2\Delta^{1/3} \right)^{1/2}$ con la velocidad de servicio en nudos y el desplazamiento Δ calculado por el método de la regresión.

$$L_{pp} = \mathbf{331,25 \text{ m}}$$

2.3.3. MÉTODO DE VÖLKER.

$$\frac{L_{pp}}{\Delta^{1/3}} = 3,5 + 4,5 \frac{v}{\sqrt{g} \Delta^{1/3}}$$

con la velocidad de servicio en m/s.

$$L_{pp} = \mathbf{338,74 \text{ m}}$$

2.3.4. MÉTODO DE NOGID.

$$L_{pp} = 2,3 \cdot v^{1/3} \cdot \Delta^{1/3}$$

con la velocidad de servicio en m/s.

$$L_{pp} = \mathbf{319,34 \text{ m}}$$

2.3.5. MÉTODO DE LUNA.

a. $L_{pp} = a \cdot DW^{0,25}$



- b. $L_{pp} = b \cdot DW^{0,25} \cdot (0,1v)^{0,5}$
- c. $L_{pp} = c \cdot DW^{0,25}$
- d. $L_{pp} = d \cdot DW^{0,25} \cdot (0,1v)^{0,5}$

donde v es la velocidad de servicio en nudos y los coeficientes a , b , c , y d y los valores de la eslora resultantes se indican en la siguiente tabla.

COEFICIENTE		ESLORA (m)
a	13,4	308,24
b	10,8	309,30
c	12,9	306,65
d	10,3	304,83

Como coeficientes empleamos los mínimos ya que una eslora menor implica menor peso de acero.



2.3.6. RESULTADO PRELIMINAR.

Con los valores obtenidos para la eslora entre perpendiculares podemos hallar el valor medio que consideraremos como la eslora entre perpendiculares del buque en proyecto.

MÉTODO		ESLORA $L_{pp}(m)$
Regresión		313,53
Jaegger		331,25
Völker		338,74
Nogid		319,34
Luna	a.	308,24
	b.	309,30
	c.	306,65
	d.	304,83
VALOR MEDIO		316,49

Como se puede comprobar la eslora media se encuentra muy próxima a la obtenida por regresión sobre los buques de referencia.

2.4. ESLORA TOTAL.

Como no existen fórmulas para su cálculo solo podemos obtener el valor por la regresión obtenida en el punto 1.2.2.2

$$L_t = 1,0389L_{pp} + 0,3953$$

$$L_t = 329,19 \text{ m}$$



2.5. MANGA DE TRAZADO.

2.5.1. MÉTODO DE LA REGRESIÓN.

Aplicamos la regresión obtenida en el punto 1.2.2.3:

$$B = 0,883 \left(\frac{DW}{\rho} \right)^{1/3} + 0,2397$$

donde

B es la manga en metros,

DW es el peso muerto de proyecto,

ρ es la densidad del agua de mar, 1,025 t/m³

$$B = 57,05 \text{ m}$$

Otra regresión que puede utilizarse es la obtenida en el punto 1.2.2.4 ya que ahora conocemos la eslora entre perpendiculares.

$$B = 0,2014L_{pp} - 5,6488$$

que para una eslora entre perpendiculares $L_{pp} = 316,49$ m. nos da una manga de:

$$B = 58,09 \text{ m}$$

2.5.2. RESULTADO PRELIMINAR.

Con los valores obtenidos para la manga podemos hallar el valor medio que consideraremos como la manga del buque en proyecto.

MÉTODO	MANGA (m)
Regresión nº1	57,05
Regresión nº2	58,09
VALOR MEDIO	57,57



2.6. COEFICIENTE DE BLOQUE.

2.6.1. MÉTODO DE MUNRO - SMITH.

Para petroleros VLCC el coeficiente de bloque viene dado por la siguiente expresión:

$$CB = 1 - 0,175 \frac{v}{\sqrt{L_{pp}}}$$

con la velocidad en nudos. El valor así obtenido es

$$CB = 0,841$$

2.6.2. MÉTODO DE ALEXANDER.

La expresión correspondiente es la siguiente:

$$CB = K_1 - K_2 \cdot F_n$$

donde:

$$K_2 = 1,68$$

K_1 de acuerdo con Ayre toma uno de los siguientes valores

1,08 para buques de una sola hélice.

1,09 para buques de dos hélices.

1,06 en otro caso.

F_n es el número de Froude obtenido con la expresión

$$F_n = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L_{pp}}}$$

En el caso del buque de proyecto, este consta de una hélice y una velocidad de servicio de 16,0 kn, es decir 8,230 m/s. La eslora entre perpendiculares será la calculada anteriormente, y así $F_n = 0,1477$.

El valor del coeficiente de bloque así obtenido es:

$$CB = 0,832$$



2.6.3. MÉTODO DE SCHNEEKLUTH.

Los valores proporcionados por este método pueden estar más ajustados que los proporcionados por los métodos de Munro-Smith, Alexander ó Ayre.

La expresión de Schneekluth es la siguiente:

$$CB = \frac{0,23}{F_n^{2/3}} \cdot \frac{\frac{L}{B} + 20}{26}$$

Y el valor de bloque, tomando $L = L_{pp}$ y B como los valores ya calculados es:

$$CB = 0,807$$

2.6.4. MÉTODO DE VAN LAMMEREN.

La expresión utilizada es la siguiente:

$$CB = 1,137 - 0,6 \cdot \frac{v}{\sqrt{L_{pp}}}$$

con la velocidad en m/s. El valor así obtenido es

$$CB = 0,859$$

2.6.5. RESULTADO PRELIMINAR.

Con los valores obtenidos podemos hallar el valor medio que consideraremos como el coeficiente de bloque del buque en proyecto.

MÉTODO	CB
Munro – Smith	0,841
Alexander	0,832
Schneekluth	0,807
Van Lammeren	0,859
VALOR MEDIO	0,835



2.7. COEFICIENTE DE LA MAESTRA.

2.7.1. MÉTODO DE VAN LAMMEREN.

La expresión correspondiente es

$$CM = 0,9 + 0,1 \cdot CB$$

Siendo CB el calculado en el punto 2.6.5

$$CM = 0,984$$

2.7.2. MÉTODO DE KERLEN.

La expresión correspondiente es

$$CM = 1,006 - 0,0056 \cdot CB^{-3,56}$$

siendo CB el calculado en el punto 2.6.5

$$CM = 0,995$$

2.7.3. MÉTODO DE SCHNEEKLUTH Y MURRAY.

La expresión correspondiente es

$$CM = 1 - 2 \cdot F_n^4$$

Para F_n entre 0 y 0,5. Como $F_n = 0,1431$ el valor así calculado es el siguiente:

$$CM = 0,999$$



2.7.4. MÉTODO DE HOLLENBACH.

La expresión correspondiente es

$$CM = 1 - 0,4292 \cdot \frac{R^2}{B \cdot T}$$

donde R es el radio de pantoque calculado de acuerdo con Luna como

$$R = \frac{B \cdot Ck}{\left[\left(\frac{L}{B} + 4\right) \cdot CB^2\right]}$$

y donde Ck se encuentra comprendido entre 0,5 y 0,6.

Sustituyendo los valores conocidos obtenemos un radio de pantoque de R = 4,691 m y el siguiente valor del coeficiente de la maestra considerando el calado del buque base:

$$CM = 0,998$$

2.7.5. RESULTADO PRELIMINAR.

Con los valores obtenidos podemos hallar el valor medio que consideraremos como el coeficiente de la maestra del buque en proyecto.

MÉTODO	CM
Van Lammeren	0,984
Kerlen	0,995
Schneekluth y Murray	0,999
Hollenbach	0,998
VALOR MEDIO	0,994



2.8. COEFICIENTE PRISMÁTICO.

2.8.1. MÉTODO DE TROOST.

$$CP = A_p - B_p \cdot F_n$$

donde

$A_p = 1,2$ para buques de una sola hélice.

$B_p = 2,12$

F_n es el número de Froude, que para el buque de proyecto es de 0,1431.

Teniendo en cuenta lo anterior el coeficiente prismático según TROOST es de

$$CP = 0,887$$

2.8.2. RELACIÓN ENTRE COEFICIENTES.

$$CP = \frac{CB}{CM}$$

Luego para $CB = 0,834$ y $CM = 0,994$ el coeficiente prismático será:

$$CP = 0,839$$

2.8.3. RESULTADO PRELIMINAR.

MÉTODO	CP
Troost	0,887
Relación Coeficientes	0,839
VALOR MEDIO	0,863



2.9. COEFICIENTE DE LA FLOTACIÓN.

2.9.1. MÉTODO DE LUNA.

El método de Luna para buques con formas en “U” se escribe como

$$CF = 0,95 \cdot CP + 0,17 \cdot (1 - CP)^{1/3}$$

tomando CP para el buque de proyecto el valor de 0,863. Luego el coeficiente de la flotación será:

$$CF = 0,907$$

2.9.2. MÉTODO DE SCHNEEKLUTH.

La expresión correspondiente es

$$CF = CP^{2/3}$$

El valor del coeficiente de la flotación para un CP = 0,872 correspondiente al buque en proyecto es el siguiente:

$$CF = 0,906$$

2.9.3. MÉTODO DE SCHNEEKLUTH Y MURRAY

La expresión correspondiente es

$$CF = \frac{1 + 2 \frac{CB}{CM}}{3}$$

El valor del coeficiente de la flotación para un CB = 0,834 y un CM = 0,994 correspondientes al buque en proyecto es el siguiente:

$$CF = 0,893$$



2.9.4. RESULTADO PRELIMINAR.

Los valores obtenidos del coeficiente de la flotación se indican en la siguiente tabla

MÉTODO	CF
Luna	0,907
Schneekluth	0,906
Schneekluth y Murray	0,893
VALOR MEDIO	0,902

2.10. PUNTAL.

2.10.1. PRIMERA REGRESIÓN.

Utilizamos la manga obtenida anteriormente, $B = 57,57$ m para aplicar la regresión $D - B$ obtenida a su vez de la relación entre dimensiones de los buques de referencia

$$D = 0,5093B + 0,3562$$

Luego

$$D = 29,67 \text{ m}$$

2.10.2. SEGUNDA REGRESIÓN.

En este caso utilizamos la regresión puntal – peso muerto, $D - (DW/\rho)^{1/3}$, obtenida también a partir de los buques de referencia.

$$D = 0,4741 \left(\frac{DW}{\rho} \right)^{1/3} - 1,0373$$

Luego para el peso muerto de proyecto 280000 t y una densidad del agua de mar de $1,025 \text{ t/m}^3$.

$$D = 29,72 \text{ m}$$



2.10.3. RESULTADO PRELIMINAR.

Los valores obtenidos del puntal se indican en la siguiente tabla

MÉTODO	PUNTAL
1 ^a Regresión	29,67
2 ^a Regresión	29,72
VALOR MEDIO	29,70

2.11. VOLUMEN DE CARGA.

Como en el RPA no nos han indicado el volumen de tanques, y siendo esta la capacidad de carga del buque, lo determinaremos utilizando la regresión Volumen de Carga – Peso muerto.

$$Vol = 1,2047(DW/\rho) - 9640,80$$

Para el peso muerto de proyecto, tenemos un volumen de tanques de carga de

$$Vol = 319448 m^3$$



2.12. FRANCOBORDO.

Una primera aproximación al francobordo es muy útil en las fases preliminares del dimensionamiento. Para ello supondremos que la eslora de francobordo es igual a la eslora entre perpendiculares media obtenida anteriormente.

2.12.1. FRANCOBORDO TABULAR.

Con la eslora de francobordo obtendremos el francobordo tabular correspondiente al buque de proyecto, el cual siguiendo el "Convenio de Líneas de Carga de 1966" está clasificado como buque Tipo A.

$$L_{FB} = L_{PP} = 316,49 \text{ m}$$

e interpolando en la Tabla 28.1 del Convenio de Líneas de Carga de 1966 obtenemos el francobordo tabular correspondiente

$$FB_T = 3324 \text{ mm}$$

2.12.2. CORRECCIÓN POR PUNTAL.

Como D es mayor que $L_{FB}/15$ la corrección por puntal será positiva y calculada mediante la siguiente expresión:

$$250 \cdot \left(D - \frac{L_{FB}}{15} \right) = 2150 \text{ mm}$$

2.12.3. CORRECCIÓN POR SUPERESTRUCTURAS.

Tomamos la superestructura del buque base. Como la superestructura está retranqueada de los costados más del 4% de la manga no se considerará superestructura.

2.12.4. CORRECCIÓN POR ARRUFO.

Por similitud con los buques referencia, en un principio no consideraremos arrufo en este primer dimensionamiento.



2.12.5. VALOR DEL FRANCOBORDO CALCULADO.

Para buques de más de 120 m. de eslora el francobordo se calcula como:

$$F = \left(\frac{0,68 + CB}{1,36} \right) \cdot F_T + 250D - 13,95L_{FB} + 1,0665L_{FB}^2 \cdot 10^{-3} - 153$$

resultando un francobordo de

$$F = 6664 \text{ mm}$$

2.12.6. VALOR DEL FRANCOBORDO POR EL PROGRAMA SHIPSHAPE.

SHIPSHAPE - VERSION 4.1 / 2000, DATE : 2014-09-17 PAGE

To be used for educational purposes only

Project : PETROLERO 280000 TPM File : VLCC

FREEBOARD CALCULATION

Method : IMO 1966 Load Line Convention

INPUT DATA :

Table of Freeboard : A

Depth to Freeboard Deck, (DF) (m) : 29.7000

Rule Length (m) : 316.4900

CB at 0.85*DF (-) : 0.8340

SUPERSTRUCTURES :

Shelterdeck, Height (m) : 0.0000

Shelterdeck, Length (m) : 0.0000

Poop , Height (m) : 0.0000

Poop , Length (m) : 0.0000

Forecastle , Height (m) : 3.0000



Forecastle , Length (m) : 23.0410
 Bridge , Length (m) : 0.0000
 Bridge , aft end from AP (m) : 0.0000
 Bridge , fore end from AP (m) : 0.0000

SHEER :

Sheer at AP (m) : 0.0000
 Sheer at 1/6 * Lpp (m) : 0.0000
 Sheer at 2/6 * Lpp (m) : 0.0000
 Sheer at Lpp/2 (m) : 0.0000
 Sheer at 4/6 * Lpp (m) : 0.0000
 Sheer at 5/6 * Lpp (m) : 0.0000
 Sheer at FP (m) : 0.0000

Bow Height at FP rel. to DF (m) : 0.0000

RESULTS :

Required Bow Height above waterline (m) : 6.2880

Freeboard from tables (m) : 3.3189
 Correction for sheer (m) : 1.0186
 Correction for superstructure(s) ... (m) : -0.0545
 Correction for CB (m) : 0.3758
 Correction for L/D ratio (m) : 2.1502
 Correction for required Bow Height . (m) : 0.0000

SUMMER FREEBOARD (m) : 6.8090

SUMMER DRAUGHT (m) : 22.8910

Winter freeboard (m) : 7.2859

Fresh water freeboard (m) : 6.2705



2.13. CALADO MÁXIMO.

2.13.1. PRIMERA REGRESIÓN.

Aplicamos la ecuación de la recta de regresión que hemos obtenido de la relación entre Calado y Puntal.

$$T = 0,6819D + 0,4194$$

y obtenemos un calado de:

$$T = 20,672 \text{ m}$$

2.13.2. SEGUNDA REGRESIÓN.

Aplicamos la ecuación de la recta de regresión que hemos obtenido de la relación entre Calado y Peso Muerto de diseño.

$$T = 0,3265(DW/\rho)^{1/3} - 0,4838$$

y obtenemos un calado de:

$$T = 20,701 \text{ m}$$

2.13.3. TERCERA REGRESIÓN.

Aplicamos la ecuación de la recta de regresión que hemos obtenido de la relación entre Calado y Peso Muerto de diseño.

$$Vol. Tanq = 33793T - 337996$$

y para un volumen de tanques de 320000 m³ obtenemos un calado de:

$$T = 20,654 \text{ m}$$

2.13.4. MÉTODO DE MURRAY.

La fórmula que emplearemos es una variación de la fórmula original de Murray y se escribe como:

$$T = 0,05077L + 1,94$$

y obtenemos un calado de:



$$T = 18,008 \text{ m}$$

2.13.5. CALADO A PARTIR DEL FRANCOBORDO CALCULADO.

Podemos aproximar el calado como $T = D - F$ resultando un calado de

$$T = 23,036 \text{ m}$$

a partir del francobordo calculado por aplicación del reglamento en el punto VALOR DEL FRANCOBORDO CALCULADO.2.12.5.

2.13.6. CALADO A PARTIR DEL FRANCOBORDO OBTENIDO CON SHIPSHAPE.

Podemos aproximar el calado como $T = D - F$ resultando un calado de

$$T = 22,891 \text{ m}$$

a partir del francobordo calculado mediante el programa ShipShape.

2.13.7. CALADO A PARTIR DE DIMENSIONES BÁSICAS CALCULADAS.

Una vez definido el desplazamiento en el punto 2.2 el calado se puede calcular a partir de las dimensiones ya obtenidas en sus puntos correspondientes como

$$T = \frac{\Delta}{L \cdot B \cdot CB \cdot \rho}$$

obteniendo un valor de

$$T = 21,549 \text{ m}$$



2.13.8. RESULTADO PRELIMINAR.

En la siguiente tabla se resumen los valores obtenidos para el francobordo por distintos métodos, así como su valor medio final.

MÉTODO	CALADO
1 ^a Regresión	20,672
2 ^a Regresión	20,701
3 ^a Regresión	20,654
Murray	18,008
FB Calculado	23,036
FB ShipShape	22,891
Dimensiones básicas	21,549
VALOR MEDIO	21,073

El valor medio arriba obtenido podemos comprobar que satisface el francobordo obtenido tanto por aplicación directa del Convenio de Líneas de Carga de 1966 ($T_{MAX} = 23,036$ m) como el obtenido mediante el ShipShape ($T_{MAX} = 22,891$ m), el cual aplica los mismos criterios.



2.13.9. CALADO DE SUEZ.

El calado para la navegación de por el canal de Suez correspondiente a la manga obtenida de 57,57 m según la regresión indicada en el punto 1.1,

$$B = -2,9496T + 109,19$$

es de

$$T = 17,50 \text{ m}$$



2.14. PREDICCIÓN DE POTENCIA.

Para la predicción de potencia utilizaremos dos programas como el ShipShape y el NavCAD empleando en ambos el método de Holtrop.

Antes de introducir los datos deberemos realizar los siguientes cálculos previos:

- a) Eslora en la flotación calculada como $L_{wl} = 1,015 \cdot L_{pp}$ obteniendo un valor de

$$L_{wl} = 321,237 \text{ m.}$$

- b) Coeficiente de bloque en la flotación $CB_{wl} = 0,834$

- c) Desplazamiento, calculado anteriormente como $\Delta = \rho \cdot CB_{wl} \cdot L_{wl} \cdot B \cdot T$ obteniendo un valor para $\rho = 1,025 \text{ t/m}^3$ de $\Delta = 333149 \text{ t}$.

- d) Coeficiente prismático en la flotación, calculado como $CP_{wl} = \sqrt{CB_{wl}} \cdot -0,025$ obteniendo un valor de $CP_{wl} = 0,888$

- e) Área del bulbo calculada como $ABULB = 0,08 \cdot CM \cdot B \cdot T$, obteniendo un valor $ABULB = 97,195 \text{ m}^2$.

- f) Coeficiente de la maestra en la flotación, calculado mediante la expresión

$$CM_{wl} = 1,006 - 0,0056 \cdot CB^{-3,56}$$

obteniendo un valor de $CM_{wl} = 0,995$

- g) Diámetro máximo del propulsor, calculado como $d_{prop} = 0,8 \cdot T$. Luego

$$d_{prop} = 16,985 \text{ m.}$$

- h) Altura máxima de la línea de ejes sobre la línea base, calculada como

$$h = 0,2 + 0,5 \cdot d_{prop}$$

luego, $h = 8,693 \text{ m}$.

Si calculamos la potencia a diámetro máximo, las revoluciones que debe dar la hélice, definida inicialmente como de 4 palas, son 26 rpm, es decir, demasiado bajas para cualquier motor comercial. Por lo tanto se han fijado las rpm de diseño a valores comerciales de dos fabricantes, Wärtsila y Man B&W. Por supuesto, y como se puede observar en el **Anexo 1: Predicción Preliminar de la Potencia**, a mayor rpm menor diámetro y mayor potencia requerida, es decir menor rendimiento propulsivo.



En general, la potencia expresada en BHP la calculamos como

$$BkW = \frac{P_S}{m_S \cdot \eta_{eje}}$$

donde

P_S es la potencia al eje obtenida por el método de Holtrop

m_S es el margen de servicio.

η_{eje} es el rendimiento de la línea de ejes que toma el valor de 0,97 para buques con el propulsor directamente acoplado como es el caso que nos ocupa.

Sin embargo, como el margen de mar (*Service allowance*) ya ha sido considerado en el cálculo de Shipshape, se obviará en esta expresión dándole un valor de 1,00 dejando este parámetro así inoperante.

$$BkW = \frac{29492,20}{1,00 \cdot 0,97} = 30404,3 \text{ kW}$$



2.15. DIMENSIONES PRELIMINARES DEL BUQUE EN PROYECTO.

Eslora entre Perpendiculares L_{pp}		316,49 m.
Eslora Total L_t		329,19 m.
Manga B		57,57 m.
Puntal D		29,70 m.
Calado Máximo T	Navegación Normal	21,07 m.
	Navegación Suez	17,50 m.
Francobordo FB de verano		6809
Peso Muerto de diseño DW		280000 t
Capacidad de Tanques (incl. Slops)		320000 m ³
Desplazamiento Δ		333149 t
Coeficiente de Bloque CB		0,834
Coeficiente de la Maestra CM		0,994
Coeficiente de la Flotación CF		0,902
Coeficiente Prismático CP		0,863
Potencia con 15% margen de mar		29492 kW

Las relaciones adimensionales del buque en proyecto frente a las de buques de referencia son:

	BUQUE EN PROYECTO	BUQUES DE REFERENCIA
L_{pp}/B	5,50	5,27 – 6,05
L_{pp}/D	10,66	10,13 – 11,33
T/D	0,71	0,66 – 0,73
$L_{pp}BD$	541144	214613,11 – 604051,88

Se puede comprobar que nuestro buque se encuentra dentro de los rangos respectivos.



3. CÁLCULO DE LA CIFRA DE MÉRITO.

La cifra de mérito es un método para optimizar las dimensiones del buque proyecto.

Existen diferentes criterios a seguir para el cálculo de la cifra de mérito que dependen de diferentes consideraciones, así pues se pueden considerar como cifras de mérito:

- a) Coste de construcción mínimo.
- b) Inversión total mínima.
- c) Coste del ciclo de vida mínimo.
- d) Flete requerido mínimo.
- e) Tasa máxima de recuperación del capital propio.
- f) Tasa de rentabilidad interna máxima.

De estos seis criterios para la obtención de las dimensiones aplicaremos, como cifra de mérito, el coste de construcción mínimo.

Para calcular las dimensiones adecuadas en función de la cifra de mérito, tendremos que calcular diferentes alternativas partiendo de las dimensiones preliminares, variando la eslora, manga, puntal y calado, y para cada alternativa calcularemos el coste de construcción y de todas ellas nos quedaremos con la mínima.

Para el cálculo seguiremos la siguiente secuencia:

- a) Calculamos las diferentes alternativas para las dimensiones, a partir de las siguientes fórmulas:

Eslora: $L_i = l_i \cdot L_o$ donde l_i toma los valores 0,85; 0,90; 0,95; 1,00; 1,5, y 1,10.

Manga: $B_i = b_i \cdot B_o$ donde b_i toma los valores 0,85; 0,90; 0,95; 1,00; 1,5, y 1,10.

Puntal $D_{ij} = \frac{L_o \cdot B_o}{L_i \cdot B_j} D_o$

Calado $T_{ij} = \frac{L_o \cdot B_o}{L_i \cdot B_j} T_o$

obteniendo así una manga para cada eslora y un puntal y un calado para cada par de estas dimensiones (L_i, B_j)

Los valores L_o, B_o, D_o y T_o son los correspondientes a las dimensiones preliminares del buque calculadas en el punto 2.15.



- b) Calculamos el número de Froude para cada una de las alternativas empleando la siguiente ecuación:

$$F_n = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L_i}}$$

donde $v = 16$ kn es la velocidad definida en los RPA y L_i es la eslora entre perpendiculares de la alternativa.

- c) Cálculo de los coeficientes prismático, de la maestra y de bloque para cada alternativa, empleando las siguientes expresiones:

i. Coeficiente prismático. $CP_{ik} = CP_{i0} + c_{pk}$

con

1. $CP_{i0} = 1,2 - 2,12 \cdot F_{ni}$

2. y $c_{pk} = 0,01$

ii. Coeficiente de la maestra. $CM_i = 1 - 2 \cdot F_n^4$

iii. Coeficiente de bloque. $CB_{ik} = CM_i \cdot CP_{ik}$

- d) Cálculo del desplazamiento. Lo realizamos a partir de la expresión teórica con las dimensiones y el coeficiente de bloque.

$$DE_{ijk} = \rho \cdot CB_{ik} \cdot L_i \cdot B_{ij} \cdot T_{ij}$$

- e) Cálculo del Incremento de Peso Estructural para cada alternativa, restando el Peso Estructural Inicial del Peso Estructural de la Alternativa para obtener el incremento de dicho peso estructural.



- i. El Peso Estructural de la Alternativa es:

$$PS_{ij} = 1000 \cdot \left(\frac{L_i}{10}\right)^{1,3761} \cdot \left(\frac{B_{ij} \cdot D_{ij}}{100}\right)^{0,74495} \cdot (0,054244 - 0,0116919 \cdot CB_{ijk})$$

- ii. El Peso Estructural Inicial es:

$$PS_0 = 1000 \cdot \left(\frac{L_0}{10}\right)^{1,3761} \cdot \left(\frac{B_0 \cdot D_0}{100}\right)^{0,74495} \cdot (0,054244 - 0,0116919 \cdot CB_0)$$

Obteniéndose el incremento del Peso Estructural como

$$d(PS)_{ijk} = PS_{ijk} - PS_0$$

- f) Cálculo del Incremento de Peso del Equipo Restante. Se realiza de forma similar al Peso Estructural utilizando las siguientes expresiones:

- i. Peso del Equipo Restante de la Alternativa:

$$PER_{ij} = 0,045 \cdot L_i^{1,3} \cdot B_{ij}^{0,8} \cdot D_{ij}^{0,3}$$

- ii. Peso del Equipo Restante inicial:

$$PER_0 = 0,045 \cdot L_0^{1,3} \cdot B_0^{0,8} \cdot D_0^{0,3}$$

Obteniéndose el incremento del Peso del Equipo Restante como

$$d(PER)_{ijk} = PER_{ijk} - PER_0$$

- g) Cálculo de la Potencia. Empleamos la fórmula de D.G.M Watson:

$$PB = \frac{0,889 \cdot DE_{ijk}^{2/3} \cdot \left(40 - \frac{L_i}{61} + 400 \cdot (K - 1)^2 - 12 \cdot CB_{ik}\right)}{15000 - 1,81 \cdot N \cdot \sqrt{L_i}} \cdot V^3$$



donde $K = 1,08$ es la constante de la fórmula de Alexander.

- h) Cálculo del Incremento de Peso de la Maquinaria que dependerá de la potencia necesaria. Para su cálculo, en buques con motores lentos, se emplea la siguiente fórmula:

$$PMAQ = \frac{BkW \cdot (895 - 0,0025 \cdot BkW)}{10000}$$

donde BkW es la potencia del motor principal en kW

El Incremento del Peso de la Maquinaria se obtiene restando al Peso de la Maquinaria para cada una de las alternativas posibles, calculado con la fórmula anterior, el peso correspondiente a las dimensiones preliminares obtenido por medio de la expresión:

$$PMAQ_0 = \frac{BkW \cdot (895 - 0,0025 \cdot BkW_0)}{10000}$$

El incremento del peso de la maquinaria será por tanto:

$$d(PMAQ)_{ij} = PMAQ_{ij} - PMAQ_0$$

- i) Reducción de alternativas. Para ello imponemos una serie de restricciones sobre las relaciones adimensionales aplicables a nuestro tipo de buque, un petrolero VLCC, eliminando aquellas alternativas que no cumplan dichas condiciones. Estas condiciones aparecen indicadas el libro "Proyecto Básico del Buque Mercante" de D. Ricardo Alvaríño Castro. El rango de cada una de las relaciones, siguiendo lo indicado en el libro mencionado es el siguiente:



RELACIÓN ADIMENSIONAL	RANGO
L_{pp}/B	5,4 – 5,8
B/D	1,8 – 2,0
L_{pp}/D	10 – 11
B/T	2,6 – 2,8

Después de haber reducido el número de alternativas posibles mediante las relaciones adimensionales, se puede reducir más el número de las alternativas comprobando si cumplen con el calado máximo para el francobordo y eliminado aquellas que no lo cumplen.

j) Cálculo del Francobordo.

Francobordo Tabular: Para buques TIPO A de eslora entre 250 y 365 m. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$FBT = e^{12,254 - \frac{275,2}{L} - 0,569 \cdot \ln(L)}$$

Francobordo Total: Para su cálculo, se aplican al francobordo tabular las siguientes correcciones:

Corrección por coeficiente de Bloque

$$C_2 = \frac{CB85D + 0,68}{1,36}$$

donde $CB85D = 1,01 \cdot CB$

Corrección por Puntal

$$C_3 = \left(D - \frac{L}{15} \right) \cdot R$$

donde R toma los siguientes valores:

$L/48$ si $L > 120$ m

250 si $L > 120$ m

Corrección por Superestructuras. Tomamos la superestructura del buque base. Como se encuentra retranqueada de los costados más de $0,4 \cdot B$ entonces no se considerará en la corrección.



Corrección por Arrufo. Por similitud con los buques de referencia, en un principio no consideraremos arrufo en el dimensionamiento preliminar.

Finalmente el Francobordo Total es $FB = FBT \cdot C2 + C3$ en mm siendo C2 y C3 las correcciones arriba indicadas.

- k) Cálculo del Calado Máximo. Lo calculamos restando al puntal el francobordo total para cada alternativa.
- l) Cálculo del Peso Muerto. Para calcular el peso muerto de cada alternativa primero se deben calcular los distintos consumos del buque. El peso de estos consumos se le deberá restar al desplazamiento, junto con el peso de la maquinaria y del equipo restante para obtener el peso muerto.

El peso del combustible consumido por el motor principal se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$P_{CM} = CEM \cdot BkW \left(\frac{Aut.}{V} \right)$$

donde *CEM* es el consumo específico del motor según se indica en el **Anexo 1: Predicción Preliminar de la Potencia**.

El peso del combustible consumido por los diesel generadores se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$P_{CA} = CEA \cdot BkW \left(\frac{Aut.}{V} \right)$$

donde *CEA* es el consumo específico de los auxiliares, en este caso diesel-generadores. Estos diesel-generadores se indican en el **Anexo 2: Diesel-Generadores**. BkW es la potencia de los diesel generadores instalados.

Si se conocen los valores del buque de referencia, puede calcularse como:

$$P_{CAp} = P_{CAr} \cdot \frac{\frac{Aut_p}{V_p}}{\frac{Aut_r}{V_r}}$$

donde



P_{CAp} es el peso del combustible consumido por el auxiliar del buque en proyecto.

P_{CAr} es el peso de combustible consumido por el auxiliar del buque de referencia.

Aut_p es la autonomía del buque en proyecto.

Aut_r es la autonomía del buque de referencia.

V_p es la velocidad de servicio del buque en proyecto.

V_r es la velocidad de servicio del buque de referencia.

En este caso como conocemos la potencia eléctrica instalada de los buques de referencia, buscamos un conjunto de cuatro diesel-generadores que satisfaga esa potencia y utilizamos su consumo (0,250 t/h) para estimar el volumen y peso del MDO necesario para su alimentación durante toda la travesía.

Para calcular los siguientes pesos, como no se dispone de datos del buque de referencia los estimamos de la siguiente forma:

Aceite lubricante, P_{AC} : 5% del consumo de combustible del motor principal.

Agua dulce, P_{AD} : Igual al consumo de combustible de los motores auxiliares.

Tripulación, P_{TRIP} : 0,2 t/persona.

Viveres, P_{VIV} : 0,02 t/persona.día.

De esta forma el peso muerto se obtendrá como:

$$DW = \Delta - (PMAQ+PER+PS+P_{CM}+P_{CA}+P_{AC}+P_{AD}+P_{TRIP}+P_{VIV})$$

m) Cálculo del Incremento del Coste de Construcción.

Finalmente cuando ya se ha reducido todo lo posible el número de alternativas, se calcula el Incremento del Coste de Construcción. El valor mínimo de este incremento será el correspondiente a la alternativa más interesante, desde el punto de vista del coste de construcción.

Dicho incremento del coste de construcción se calculará a partir de la siguiente fórmula:

$$d(M)_{ijk} = cs \cdot d(PS)_{ijk} + cq \cdot d(BkW)_{ijk} + cr \cdot d(PER)_{ij}$$

donde



cs es el coeficiente de la estructura montada (2514 €/t).

cq es el coeficiente de coste de la maquinaria (400 €/kW).

cr es el coeficiente de coste del equipo restante (3200 €/t).

En el Anexo 3: Selección de la Alternativa se representan las tablas, realizadas a través de una hoja de cálculo Excel, que nos permiten calcular la alternativa que hace mínimo el incremento de coste de construcción dentro de las que verifican las relaciones entre dimensiones. En negrita se marca la alternativa elegida.

Se ha tomada aquella que verifica todas las relaciones dimensionales impuestas, esto es, que se encuentra dentro de los rangos de aplicación de las mismas.

De las alternativas obtenidas, se calcula el peso muerto para comprobar que es igual o mayor que el indicado como RPA.

La alternativa válida es la número 22. Para su elección además de los criterios ya indicados nos basamos en el menor peso de consumos, maquinaria, tanto principal como auxiliar que verifique el RPA mencionado al comienzo de este cuaderno.

Las características de la alternativa seleccionada son las siguientes:



Eslora entre Perpendiculares L_{pp}		316,49 m
Eslora Total L_t		329,19 m
Manga B		57,57 m
Puntal D		29,70 m
Calado T	Navegación Normal	21,073 m.
	Navegación Suez	17,50 m
Francobordo FBV de verano		6809 mm
Francobordo FBI de invierno		7286 mm
Peso Muerto DW		290255 t
Capacidad de Tanques (incl. Slops)		331501 m ³
Desplazamiento Δ		352568 t
Coeficiente de Bloque CB		0,89
Coeficiente de la Maestra CM		0,99
Coeficiente de la Flotación CF		0,96
Coeficiente Prismático CP		0,89
Potencia con 15% M.M, a 82 rpm		29492 kW



4. COMPROBACIÓN DE LOS CÁLCULOS OBTENIDOS.

4.1. FRANCOBORDO.

Para ello calculamos de nuevo el francobordo con el ShipShape utilizando las dimensiones y coeficientes de la alternativa seleccionada.

F R E E B O A R D C A L C U L A T I O N -----

Method : IMO 1966 Load Line Convention

INPUT DATA :

Table of Freeboard : A
Depth to Freeboard Deck, (DF) (m) : 29.7000
Rule Length (m) : 316.4900
CB at 0.85*DF (-) : 0.8900

SUPERSTRUCTURES :

Shelterdeck, Height (m) : 0.0000
Shelterdeck, Length (m) : 0.0000
Poop , Height (m) : 0.0000
Poop , Length (m) : 0.0000
Forecastle , Height (m) : 23.0410
Forecastle , Length (m) : 3.0000
Bridge , Length (m) : 0.0000
Bridge , aft end from AP (m) : 0.0000
Bridge , fore end from AP (m) : 0.0000

SHEER :

Sheer at AP (m) : 0.0000
Sheer at 1/6 * Lpp (m) : 0.0000
Sheer at 2/6 * Lpp (m) : 0.0000
Sheer at Lpp/2 (m) : 0.0000
Sheer at 4/6 * Lpp (m) : 0.0000
Sheer at 5/6 * Lpp (m) : 0.0000
Sheer at FP (m) : 0.0000
Bow Height at FP rel. to DF (m) : 0.0000

RESULTS :

Required Bow Height above waterline (m) : 6.0637

Freeboard from tables (m) : 3.3189
Correction for sheer (m) : 1.0276
Correction for superstructure(s) ... (m) : -0.0071
Correction for CB (m) : 0.5125
Correction for L/D ratio (m) : 2.1502
Correction for required Bow Height . (m) : 0.0000



SUMMER FREEBOARD	(m) :	7.0021
SUMMER DRAUGHT	(m) :	22.6979
Winter freeboard	(m) :	7.4749
Fresh water freeboard	(m) :	6.4686

Una vez conocido el francobordo, y para el puntal de 29,70 m podemos calcular el calado máximo correspondiente.

	SHIPSHAPE	CALCULO ALTERNATIVA
Francobordo FBV	7,002 m	6,022 m
Calado máx. T_{max}	22,698 m	23,678 m

Como vemos el calado obtenido con el SHIPSHAPE difiere con el obtenido mediante la formulación antes descrita.

Sin embargo, dicho calado máximo, $T_{\text{máx}} = 22,698$ m. es mayor que el necesario para obtener el peso muerto requerido, $T = 21,177$ m. luego el francobordo calculado con el programa satisface el RPA de $DW = 280.000$ t. En el caso de la alternativa seleccionada $DW = 290255$ t.



5. DESCRIPCIÓN DEL BUQUE.

El buque en proyecto es un buque tanque de transporte de crudos de petróleo con doble casco y un peso muerto de diseño de 280.000 T.P.M. (290255 T.P.M. finales) que le permite transportar aproximadamente 2,17 millones de barriles Brent. La carga ocupará un volumen no inferior a 320.000 m³ y será trasegada por tres bombas de carga/descarga situadas en cámara de bombas, pudiendo descargar o cargar empleando el sistema de tuberías de cubierta (manifold) por cualquiera de los costados del buque.

Se encuentra subdividido con tres tanques en manga para así reducir el efecto de superficies libres y el sloshing que podría dañar la estructura. No tiene arrufo y sí tiene una pequeña brusca para facilitar la evacuación del agua que pueda embarcar por distintas situaciones.

La propulsión corre a cargo de un motor Diesel lento de dos tiempos y por lo tanto directamente acoplado a una hélice de paso fijo según requerimiento RPA. Este motor por ser lento (82 r.p.m.) puede utilizar combustible pesado HFO (Heavy Fuel Oil) y por lo tanto los tanques de combustible deberán estar equipados con un sistema de calentamiento de combustible para así disminuir su viscosidad y poder trasegarlo. Este sistema de calentamiento utilizará el vapor generado en una caldera de gases de escape con quemadores.

Las tuberías del sistema de alimentación de combustible deberán estar calorifugadas.

Los módulos de las purificadoras de combustible y aceite también contarán con calentadores propios aunque en este caso serán eléctricos.

El motor deberá proporcionar la potencia necesaria, como hemos visto en cálculos anteriores para que el buque alcance una velocidad de servicio de 16 kn. con un 85% de margen de mar.

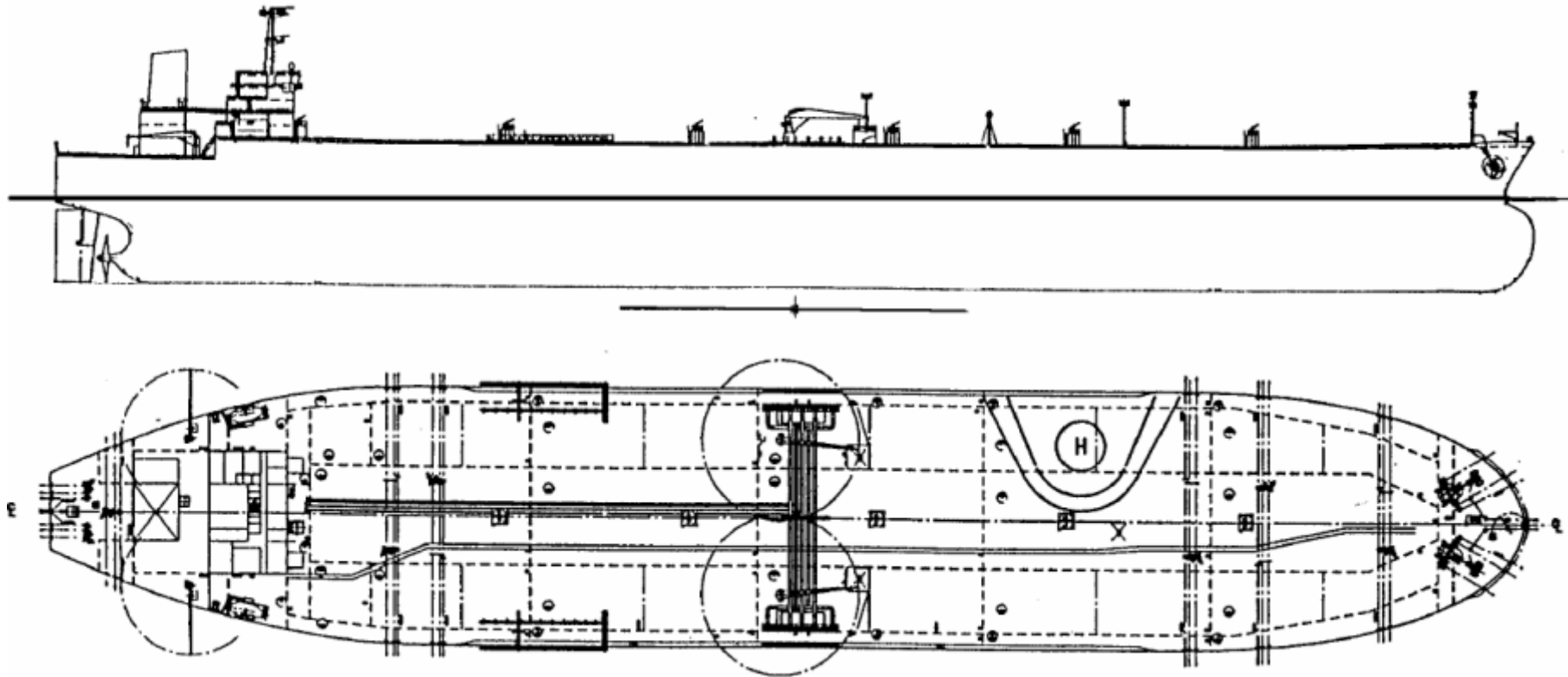
La habilitación, instalada en la superestructura, a popa de la cámara de bombas y por lo tanto en la zona segura del buque, deberá ser capaz de albergar a 30 tripulantes alojados en camarotes individuales además del personal de Suez.

Entre otros equipos, el buque deberá llevar un sistema de gas inerte para evitar situaciones peligrosas en la zona de tanques por formación de atmósferas inflamables y un equipo de salvamento y rescate acorde con lo estipulado en el convenio SOLAS.

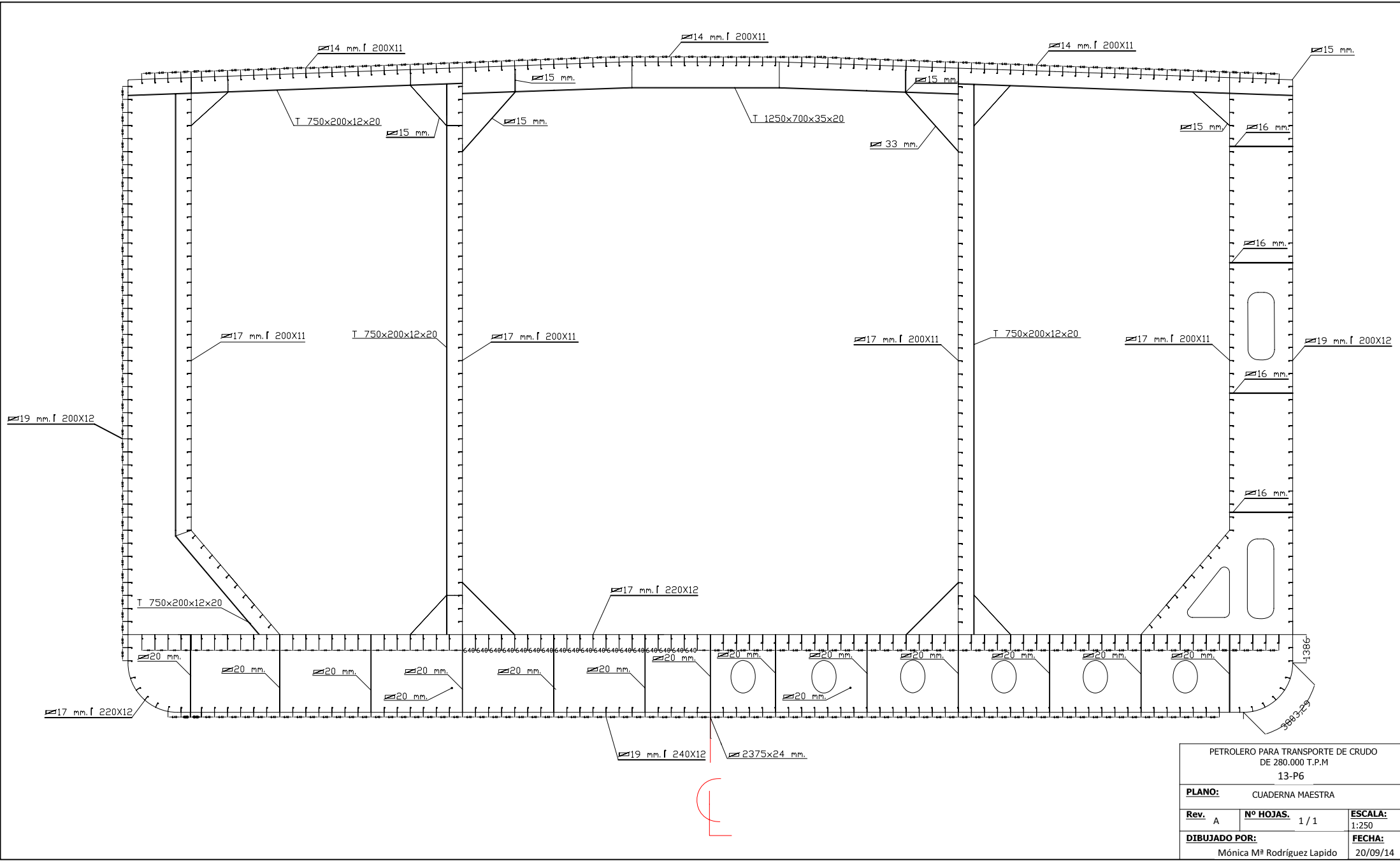


6. DISPOSICIÓN GENERAL Y CUADERNA MAESTRA. COMPROBACIÓN DE LOS CÁLCULOS OBTENIDOS.

6.1. DISPOSICIÓN GENERAL.



6.2. CUADERNA MAESTRA



PETROLERO PARA TRANSPORTE DE CRUDO DE 280.000 T.P.M 13-P6			
PLANO:		CUADERNA MAESTRA	
Rev.	Nº HOJAS.	ESCALA:	
A	1 / 1	1:250	
DIBUJADO POR:			FECHA:
Mónica M ³ Rodríguez Lapido			20/09/14



ANEXO 1: Predicción Preliminar de la Potencia

Id. text : PETROLERO 280000 TPM

```
=====
RESISTANCE and PROPULSION
=====
```

SEPARATE RUN (without hull from file).

```
Resistance method :   Hol trop 1984
Propulsion method  :   Hol trop 1984
Propeller method  :   Wageningen B-screw series
```

```
-----
CALCULATION FOR SERVICE SPEED
-----
```

```
Service speed ..... V :          16.00 (knots)
Service allowance ..... SerAll :          15.00 (%)
Number of propellers ..... NProp :           1 (-)
Number of propeller blades ..... Z :           4 (-)
Thrust intensive propeller ? .... CavSaf :           Yes
Vertical center propeller shaft ... vcPS :           8.693 (m)
Max. propeller diameter ..... DPMax :          16.985 (m)

Towing resistance ..... Rtot :          2210.245 (kN)
Effective power ..... Pe :          18192.75 (kW)
... PeH :          24735.25 (HP)

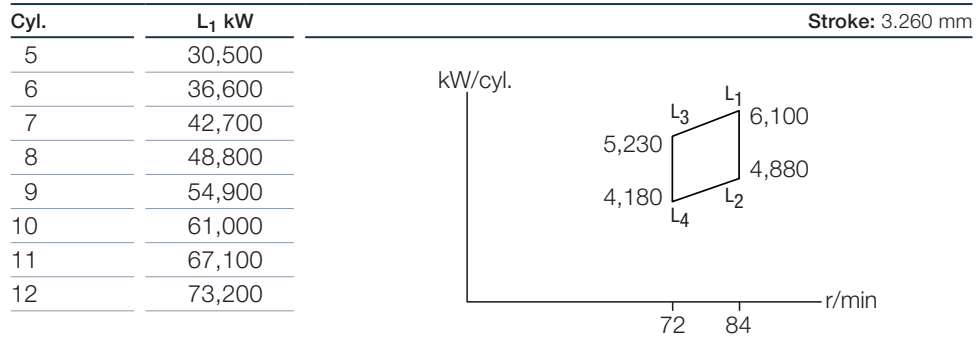
Wake fraction ..... w :           0.50696 (-)
Thrust deduction ..... TD :           0.21777 (-)
Hull efficiency ..... Eh :           1.58656 (-)
Relative rotative efficiency ..... Er :           1.01695 (-)
Thrust power ..... Pt :          11275.62 (kW)
... PtH :          15330.57 (HP)

Propeller diameter ..... DProp :           10.181 (m)
Blade area ratio ..... BAR :           0.590 (-)
Pitch ratio ..... PR :           0.558 (-)
Revolutions per minute ..... RPM :           82 (-)
Propeller efficiency ..... Ep :           0.43967 (-)

Propulsive efficiency ..... Ed :           0.70940 (-)
Shaft power ..... Ps :          29492.20 (kW)
... PsH :          40098.21 (HP)
```

Power, Speed and Fuel Oil

MAN B&W S90ME-C10.2-GI-TII

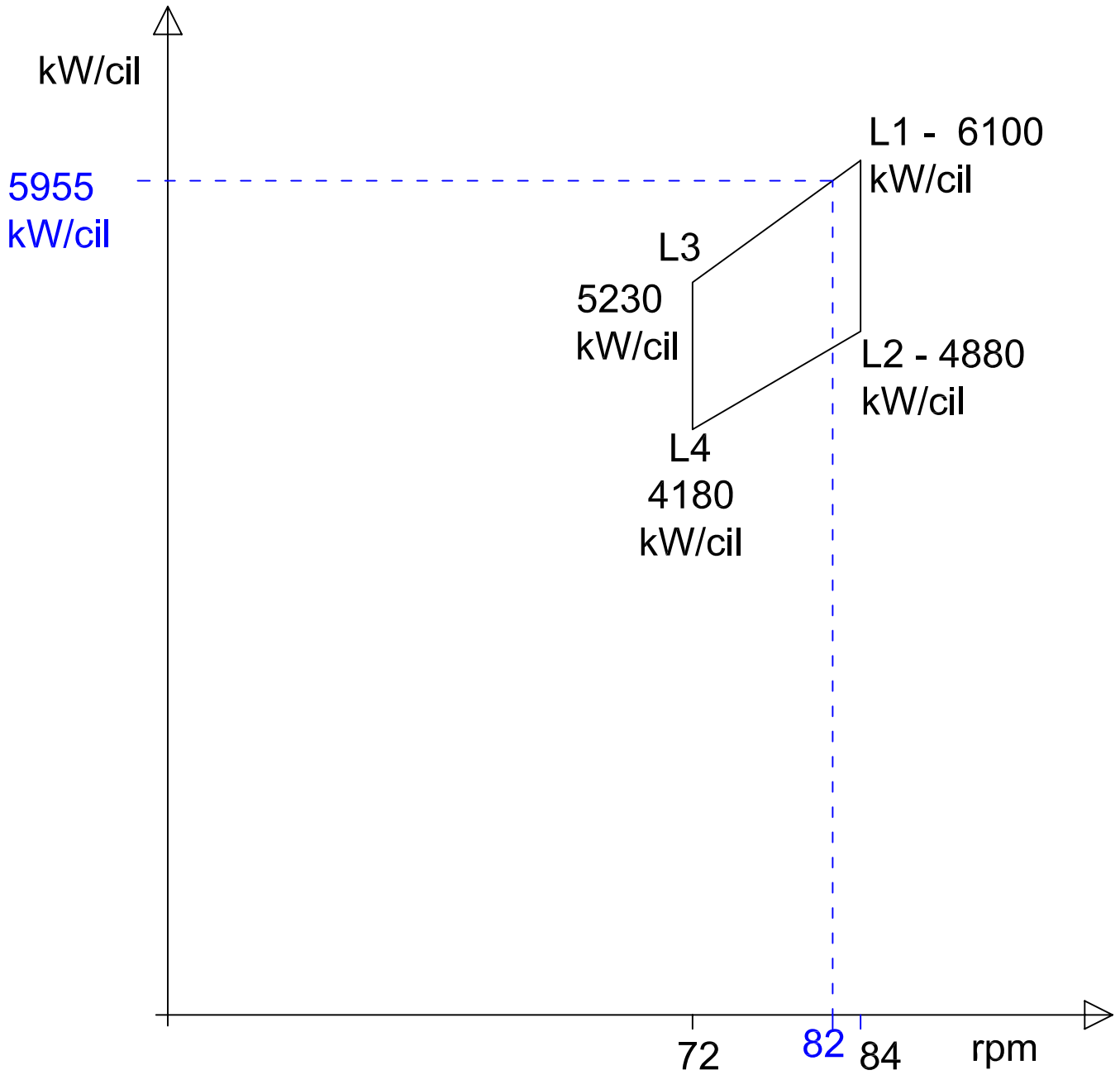


SFOC gas engines [g/kWh]		L ₁ /L ₃ MEP: 21.0 bar – L ₂ /L ₄ MEP: 16.8 bar		
		50%	75%	100%
Gas and pilot fuel (42,700 kJ/kg)	L ₁	160.5	158.0	165.0
	L ₂	156.5	152.0	159.0
	L ₃	161.0	159.5	165.0
	L ₄	157.0	153.5	159.0
Liquid fuel only (42,700 kJ/kg)	L ₁ / L ₃	164.5	162.0	166.0
	L ₂ / L ₄	160.5	156.0	160.0

Specific gas and pilot fuel consumption consists of 3% pilot liquid fuel and gas fuel.
Gas fuel LCV (50,000 kJ/kg) is converted to diesel fuel LCV (42,700 kJ/kg) for comparison with diesel engine

Distributed fuel data [g/kWh]		50%	75%	100%
Gas fuel (50,000 kJ/kg)	L ₁	130.4	129.8	136.7
	L ₂	125.3	123.4	130.5
	L ₃	130.8	131.1	136.7
	L ₄	125.7	124.7	130.5
Pilot fuel (42,700 kJ/kg)	L ₁ / L ₃	7.9	6.0	5.0
	L ₂ / L ₄	9.8	7.5	6.2

Fig 1.03.01: Power, speed and fuel





ANEXO 2: Diesel Generadores. Selección Preliminar.

Technical data Diesel Generator Set

CAT 3512B-1500

Output Ratings with Radiator	DIN/ISO 3046	
Combustion Strategy	Low Emission, 30 °C ACT	
Generating set Model	Prime	Standby
400V, 50Hz, power factor 0.8	1'360 kVA	1'500 kVA
	1'088 kW	1'200 kW
Feature Code	512DE6W	
Performance No.	DM8039	DM8036

Diesel Engine	
Brand	Caterpillar
Type	3512B TA
No. of Cylinders / Alignment	12 / V
Cycle	4-Stroke
Cooling Method	Water-cooled
Fuel	Diesel
Speed	1'500 rpm
Bore	170.00 mm
Stroke	190.00 mm
Displacement	51.80 L
Compression Ratio	14.0:1
Aspiration	Turbo after cooler
Fuel System	Electronic unit injection
Base Tank Capacity	n. a.
Jacket Water heaters	220 V / 9 kW
Starting Motor	24 V / 7 kW
Battery Type	153-5700
Quantity	4
Capacity per Battery / total	145 Ah - 12 V / 290 Ah - 24 V

Generator	
Brand	Caterpillar
Type / Frame	1447
Excitation	Permanent Magnet or AREP
Pitch	0.6667
Number of Poles	4
Number of Bearings	Single Bearing
Number of Leads	6
Insulation	Class H
IP Rating	IP23
Nominal Speed	1'500 rpm
Over Speed capability	150 %
Wave form Deviation (Line to Line)	2 %
Voltage Regulator	3 Phase sensing with selectable volts/Hz
Voltage regulation	Less than $\pm 1/2\%$ (steady state) Less than $\pm 1\%$ (no load to full load)
Telephone Influence Factor (TIF)	Less than 50
Total Harmonic Distortion (THD)	Less than 5%
CBK 3pol manual, fixed mount rear	2'500 A / 50 kA
Typical Cabeling; TN-C (Prime)	5 x 4 x 240 mm ² + 3 x 1 x 240 mm ²
Typical Cabeling; TN-C (Standby)	4 x 4 x 240 mm ² + 2 x 1 x 240 mm ²

Package Dimensions		
Engine:	Length x Width x Height	2'776 x 1'872 x 1'703 mm
	Weight	6'546 kg
Generator:	Length x Width x Height	1'933 x 1'378 x 1'551 mm
	Weight	2'900 kg
Radiator:	Length x Width x Height	1'563 x 1'563 x 2'342 mm
	Dry Weight	794 kg
Complete:	Length x Width x Height	5'137 x 1'975 x 2'367mm
	Weight	12'500 kg



Technical Data	Prime	Standby
Fuel Consumption		
100% load with Fan	298.7 L/hr	331.5 L/hr
75% load with Fan	224.7 L/hr	247.5 L/hr
50% load with Fan	153.9 L/hr	167.2 L/hr
Oil consumption 75% load	0.170 L/hr	0.186 L/hr
Cooling System		
Engine coolant Capacity with Radiator / expansion Tank	286.8 L	
Engine coolant Capacity	156.8 L	
Inlet Air		
Combustion Air inlet flow rate	108.7 m ³ /min	116.5 m ³ /min
Exhaust System		
Exhaust stack gas Temperature	397.4 °C	409.9 °C
Exhaust gas flow rate	255.8 m ³ /min	279.7 m ³ /min
Exhaust System backpressure max.	6.7 kPa	
Heat Rejection		
Heat Rejection to coolant (total)	472 kW	511 kW
Heat Rejection to exhaust (total)	1'057 kW	1'182 kW
Heat Rejection to after cooler	350 kW	410 kW
Heat Rejection to Atmosphere from Engine	115 kW	124 kW
Heat Rejection to Atmosphere from Generator	50.1 kW	57.9 kW
Lube System		
Sump refill with Filter	310.4 L	
Exhaust Emission (Nominal Data); Potential Site Variation possible		
NOx mg/nm ³	1'802.8	1'819.2
CO mg/nm ³	142.1	133.2
HC mg/nm ³	90.6	76.9
Part Matter mg/nm ³	37.6	36.0
Generator		
Motor starting capability @30%	3'658 skVA	
Voltage Dip		
Rated Current	1'963.0 A	2'165.1 A
Short-Circuit Current	3 x I _{NOM}	

Radiator	
Radiator Type	37.0 CTD
Design Temperature	44 °C
Radiator coolant Capacity	130.0 L
Air Flow @ 120 Pa	1'359 m ³ /min
Air Flow @ 180 Pa	1'274 m ³ /min

Sound pressure Level LPA @ 75% Last @ 7m										
dB	Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Overall dBA
		Mechanical [Stby]	84	92	100	91	86	86	84	
Exhaust [Stby]	96	106	100	91	91	92	93	88	99	
Mechanical [Prim]	84	92	100	91	86	86	84	87	95	
Exhaust [Prim]	95	106	100	91	90	91	92	87	98	



ANEXO 3: Selección de la Alternativa más Favorable.

ANEXO-3-SELECCIÓN ALTERNATIVAS

Alt. No.	li	bi	Lij	Bij	Dij	Tij	Fnij	Cpik	CMi	CBik	DEijk	PSij	PS(0)	d(PS)ijk	PERij	PER(0)	d(PER)ijk	Pbij	d(Pb)ij
1	0,85	0,85	269,02	48,93	41,11	29,16	0,16022	0,870	0,999	0,869	342021	38269	42697	-4428	4444	5671	-1227	39285,72	-638,28
2	0,85	0,90	269,02	51,81	38,82	27,54	0,16022	0,870	0,999	0,869	342021	38269	42697	-4428	4573	5671	-1098	39285,72	-638,28
3	0,85	0,95	269,02	54,69	36,78	26,09	0,16022	0,870	0,999	0,869	342021	38269	42697	-4428	4698	5671	-973	39285,72	-638,28
4	0,85	1,00	269,02	57,57	34,94	24,79	0,16022	0,870	0,999	0,869	342021	38269	42697	-4428	4820	5671	-851	39285,72	-638,28
5	0,85	1,05	269,02	60,45	33,28	23,61	0,16022	0,870	0,999	0,869	342021	38269	42697	-4428	4939	5671	-732	39285,72	-638,28
6	0,85	1,10	269,02	63,33	31,76	22,53	0,16022	0,870	0,999	0,869	342021	38269	42697	-4428	5056	5671	-615	39285,72	-638,28
7	0,90	0,85	284,84	48,93	38,82	27,54	0,15571	0,880	0,999	0,879	345831	39573	42697	-3124	4706	5671	-965	39261,18	-662,82
8	0,90	0,90	284,84	51,81	36,67	26,01	0,15571	0,880	0,999	0,879	345831	39573	42697	-3124	4842	5671	-829	39261,18	-662,82
9	0,90	0,95	284,84	54,69	34,74	24,64	0,15571	0,880	0,999	0,879	345831	39573	42697	-3124	4975	5671	-696	39261,18	-662,82
10	0,90	1,00	284,84	57,57	33,00	23,41	0,15571	0,880	0,999	0,879	345831	39573	42697	-3124	5104	5671	-567	39261,18	-662,82
11	0,90	1,05	284,84	60,45	31,43	22,30	0,15571	0,880	0,999	0,879	345831	39573	42697	-3124	5230	5671	-441	39261,18	-662,82
12	0,90	1,10	284,84	63,33	30,00	21,28	0,15571	0,880	0,999	0,879	345831	39573	42697	-3124	5353	5671	-318	39261,18	-662,82
13	0,95	0,85	300,67	48,93	36,78	26,09	0,15156	0,889	0,999	0,888	349334	40849	42697	-1847	4967	5671	-704	39211,85	-712,15
14	0,95	0,90	300,67	51,81	34,74	24,64	0,15156	0,889	0,999	0,888	349334	40849	42697	-1847	5111	5671	-560	39211,85	-712,15
15	0,95	0,95	300,67	54,69	32,91	23,35	0,15156	0,889	0,999	0,888	349334	40849	42697	-1847	5251	5671	-420	39211,85	-712,15
16	0,95	1,00	300,67	57,57	31,26	22,18	0,15156	0,889	0,999	0,888	349334	40849	42697	-1847	5388	5671	-284	39211,85	-712,15
17	0,95	1,05	300,67	60,45	29,77	21,12	0,15156	0,889	0,999	0,888	349334	40849	42697	-1847	5521	5671	-151	39211,85	-712,15
18	0,95	1,10	300,67	63,33	28,42	20,16	0,15156	0,889	0,999	0,888	349334	40849	42697	-1847	5650	5671	-21	39211,85	-712,15
19	1,00	0,85	316,49	48,93	34,94	24,79	0,14772	0,897	0,999	0,896	352568	42101	42697	-596	5228	5671	-443	39140,46	-783,54
20	1,00	0,90	316,49	51,81	33,00	23,41	0,14772	0,897	0,999	0,896	352568	42101	42697	-596	5380	5671	-291	39140,46	-783,54
21	1,00	0,95	316,49	54,69	31,26	22,18	0,14772	0,897	0,999	0,896	352568	42101	42697	-596	5527	5671	-144	39140,46	-783,54
22	1,00	1,00	316,49	57,57	29,70	21,07	0,14772	0,897	0,999	0,896	352568	42101	42697	-596	5671	5671	0	39140,46	-783,54
23	1,00	1,05	316,49	60,45	28,29	20,07	0,14772	0,897	0,999	0,896	352568	42101	42697	-596	5811	5671	140	39140,46	-783,54
24	1,00	1,10	316,49	63,33	27,00	19,15	0,14772	0,897	0,999	0,896	352568	42101	42697	-596	5948	5671	277	39140,46	-783,54
25	1,05	0,85	332,31	48,93	33,28	23,61	0,14416	0,904	0,999	0,904	355567	43329	42697	632	5490	5671	-181	39049,28	-874,72
26	1,05	0,90	332,31	51,81	31,43	22,30	0,14416	0,904	0,999	0,904	355567	43329	42697	632	5649	5671	-22	39049,28	-874,72
27	1,05	0,95	332,31	54,69	29,77	21,12	0,14416	0,904	0,999	0,904	355567	43329	42697	632	5804	5671	133	39049,28	-874,72
28	1,05	1,00	332,31	57,57	28,29	20,07	0,14416	0,904	0,999	0,904	355567	43329	42697	632	5955	5671	284	39049,28	-874,72
29	1,05	1,05	332,31	60,45	26,94	19,11	0,14416	0,904	0,999	0,904	355567	43329	42697	632	6102	5671	431	39049,28	-874,72
30	1,05	1,10	332,31	63,33	25,71	18,24	0,14416	0,904	0,999	0,904	355567	43329	42697	632	6245	5671	574	39049,28	-874,72
31	1,10	0,85	348,14	48,93	31,76	22,53	0,14085	0,911	0,999	0,911	358357	44536	42697	1839	5751	5671	80	38940,17	-983,83
32	1,10	0,90	348,14	51,81	30,00	21,28	0,14085	0,911	0,999	0,911	358357	44536	42697	1839	5918	5671	247	38940,17	-983,83
33	1,10	0,95	348,14	54,69	28,42	20,16	0,14085	0,911	0,999	0,911	358357	44536	42697	1839	6080	5671	409	38940,17	-983,83
34	1,10	1,00	348,14	57,57	27,00	19,15	0,14085	0,911	0,999	0,911	358357	44536	42697	1839	6238	5671	567	38940,17	-983,83
35	1,10	1,05	348,14	60,45	25,71	18,24	0,14085	0,911	0,999	0,911	358357	44536	42697	1839	6392	5671	721	38940,17	-983,83
36	1,10	1,10	348,14	63,33	24,55	17,41	0,14085	0,911	0,999	0,911	358357	44536	42697	1839	6543	5671	872	38940,17	-983,83

ANEXO-3-SELECCIÓN ALTERNATIVAS

Alt. No.	PMAQij	PMAQ(0)	d(PMAQ)ij	(L/B)ij	(B/D)ij	(L/D)ij	(B/T)ij	FBT	C2	C3	FT	Tmax	PCM	PCA	PAC	PAD	PTRIP	PVIV	DW	cs
1	2375,87	2422,10	-46,23	5,50	1,19	6,54	1,68	3126	1,15	5793,21	9374	31,73	5392,41	1125,00	269,62	5392,41	6,00	28,20	284719	2514
2	2375,87	2422,10	-46,23	5,19	1,33	6,93	1,88	3126	1,15	5222,27	8803	30,02	5392,41	1125,00	269,62	5392,41	6,00	28,20	284590	2514
3	2375,87	2422,10	-46,23	4,92	1,49	7,31	2,10	3126	1,15	4711,44	8293	28,49	5392,41	1125,00	269,62	5392,41	6,00	28,20	284465	2514
4	2375,87	2422,10	-46,23	4,67	1,65	7,70	2,32	3126	1,15	4251,69	7833	27,11	5392,41	1125,00	269,62	5392,41	6,00	28,20	284342	2514
5	2375,87	2422,10	-46,23	4,45	1,82	8,08	2,56	3126	1,15	3835,72	7417	25,86	5392,41	1125,00	269,62	5392,41	6,00	28,20	284223	2514
6	2375,87	2422,10	-46,23	4,25	1,99	8,47	2,81	3126	1,15	3457,57	7039	24,73	5392,41	1125,00	269,62	5392,41	6,00	28,20	284107	2514
7	2374,52	2422,10	-47,59	5,82	1,26	7,34	1,78	3203	1,15	4958,53	8651	30,17	5389,04	1125,00	269,45	5389,04	6,00	28,20	286972	2514
8	2374,52	2422,10	-47,59	5,50	1,41	7,77	1,99	3203	1,15	4419,32	8112	28,56	5389,04	1125,00	269,45	5389,04	6,00	28,20	286835	2514
9	2374,52	2422,10	-47,59	5,21	1,57	8,20	2,22	3203	1,15	3936,86	7629	27,11	5389,04	1125,00	269,45	5389,04	6,00	28,20	286703	2514
10	2374,52	2422,10	-47,59	4,95	1,74	8,63	2,46	3203	1,15	3502,65	7195	25,81	5389,04	1125,00	269,45	5389,04	6,00	28,20	286574	2514
11	2374,52	2422,10	-47,59	4,71	1,92	9,06	2,71	3203	1,15	3109,79	6802	24,63	5389,04	1125,00	269,45	5389,04	6,00	28,20	286447	2514
12	2374,52	2422,10	-47,59	4,50	2,11	9,49	2,98	3203	1,15	2752,65	6445	23,56	5389,04	1125,00	269,45	5389,04	6,00	28,20	286324	2514
13	2371,80	2422,10	-50,31	6,14	1,33	8,17	1,88	3268	1,16	4183,95	7973	28,81	5382,27	1125,00	269,11	5382,27	6,00	28,20	288953	2514
14	2371,80	2422,10	-50,31	5,80	1,49	8,66	2,10	3268	1,16	3673,12	7462	27,27	5382,27	1125,00	269,11	5382,27	6,00	28,20	288809	2514
15	2371,80	2422,10	-50,31	5,50	1,66	9,14	2,34	3268	1,16	3216,06	7005	25,90	5382,27	1125,00	269,11	5382,27	6,00	28,20	288669	2514
16	2371,80	2422,10	-50,31	5,22	1,84	9,62	2,60	3268	1,16	2804,70	6593	24,67	5382,27	1125,00	269,11	5382,27	6,00	28,20	288532	2514
17	2371,80	2422,10	-50,31	4,97	2,03	10,10	2,86	3268	1,16	2432,52	6221	23,55	5382,27	1125,00	269,11	5382,27	6,00	28,20	288399	2514
18	2371,80	2422,10	-50,31	4,75	2,23	10,58	3,14	3268	1,16	2094,17	5883	22,54	5382,27	1125,00	269,11	5382,27	6,00	28,20	288269	2514
19	2367,85	2422,10	-54,25	6,47	1,40	9,06	1,97	3323	1,17	3460,46	7333	27,61	5372,47	1125,00	268,62	5372,47	6,00	28,20	290698	2514
20	2367,85	2422,10	-54,25	6,11	1,57	9,59	2,21	3323	1,17	2975,17	6848	26,15	5372,47	1125,00	268,62	5372,47	6,00	28,20	290546	2514
21	2367,85	2422,10	-54,25	5,79	1,75	10,12	2,47	3323	1,17	2540,96	6413	24,85	5372,47	1125,00	268,62	5372,47	6,00	28,20	290399	2514
22	2367,85	2422,10	-54,25	5,50	1,94	10,66	2,73	3323	1,17	2150,17	6023	23,68	5372,47	1125,00	268,62	5372,47	6,00	28,20	290255	2514
23	2367,85	2422,10	-54,25	5,24	2,14	11,19	3,01	3323	1,17	1796,60	5669	22,62	5372,47	1125,00	268,62	5372,47	6,00	28,20	290115	2514
24	2367,85	2422,10	-54,25	5,00	2,35	11,72	3,31	3323	1,17	1475,17	5348	21,65	5372,47	1125,00	268,62	5372,47	6,00	28,20	289979	2514
25	2362,82	2422,10	-59,29	6,79	1,47	9,99	2,07	3368	1,17	2780,75	6725	26,55	5359,95	1125,00	268,00	5359,95	6,00	28,20	292238	2514
26	2362,82	2422,10	-59,29	6,41	1,65	10,57	2,32	3368	1,17	2318,57	6263	25,17	5359,95	1125,00	268,00	5359,95	6,00	28,20	292078	2514
27	2362,82	2422,10	-59,29	6,08	1,84	11,16	2,59	3368	1,17	1905,03	5850	23,92	5359,95	1125,00	268,00	5359,95	6,00	28,20	291924	2514
28	2362,82	2422,10	-59,29	5,77	2,04	11,75	2,87	3368	1,17	1532,85	5477	22,81	5359,95	1125,00	268,00	5359,95	6,00	28,20	291773	2514
29	2362,82	2422,10	-59,29	5,50	2,24	12,34	3,16	3368	1,17	1196,12	5141	21,80	5359,95	1125,00	268,00	5359,95	6,00	28,20	291626	2514
30	2362,82	2422,10	-59,29	5,25	2,46	12,92	3,47	3368	1,17	890,00	4835	20,88	5359,95	1125,00	268,00	5359,95	6,00	28,20	291482	2514
31	2356,79	2422,10	-65,31	7,11	1,54	10,96	2,17	3406	1,18	2138,86	6146	25,62	5344,98	1125,00	267,25	5344,98	6,00	28,20	293597	2514
32	2356,79	2422,10	-65,31	6,72	1,73	11,60	2,43	3406	1,18	1697,68	5705	24,30	5344,98	1125,00	267,25	5344,98	6,00	28,20	293430	2514
33	2356,79	2422,10	-65,31	6,37	1,92	12,25	2,71	3406	1,18	1302,95	5310	23,11	5344,98	1125,00	267,25	5344,98	6,00	28,20	293268	2514
34	2356,79	2422,10	-65,31	6,05	2,13	12,89	3,01	3406	1,18	947,68	4955	22,05	5344,98	1125,00	267,25	5344,98	6,00	28,20	293110	2514
35	2356,79	2422,10	-65,31	5,76	2,35	13,54	3,31	3406	1,18	626,25	4633	21,08	5344,98	1125,00	267,25	5344,98	6,00	28,20	292956	2514
36	2356,79	2422,10	-65,31	5,50	2,58	14,18	3,64	3406	1,18	334,05	4341	20,20	5344,98	1125,00	267,25	5344,98	6,00	28,20	292805	2514

ANEXO-3-SELECCIÓN ALTERNATIVAS

Alt. No.	cq	cr	d(M)ijk	VALIDA L/B	VALIDA B/D	VALIDA L/D	VALIDA B/T	ALTERNATIVA VALIDA
1	400	3200	-15313684	SI	NO	NO	NO	NO
2	400	3200	-14901384	NO	NO	NO	NO	NO
3	400	3200	-14500386	NO	NO	NO	NO	NO
4	400	3200	-14109809	NO	NO	NO	NO	NO
5	400	3200	-13728880	NO	SI	NO	NO	NO
6	400	3200	-13356919	NO	SI	NO	NO	NO
7	400	3200	-11209000	NO	NO	NO	NO	NO
8	400	3200	-10772447	SI	NO	NO	NO	NO
9	400	3200	-10347861	NO	NO	NO	NO	NO
10	400	3200	-9934309	NO	NO	NO	NO	NO
11	400	3200	-9530973	NO	SI	NO	SI	NO
12	400	3200	-9137130	NO	NO	NO	NO	NO
13	400	3200	-7182343	NO	NO	NO	NO	NO
14	400	3200	-6721537	NO	NO	NO	NO	NO
15	400	3200	-6273363	SI	NO	NO	NO	NO
16	400	3200	-5836836	NO	SI	NO	NO	NO
17	400	3200	-5411092	NO	NO	SI	NO	NO
18	400	3200	-4995370	NO	NO	SI	NO	NO
19	400	3200	-3227694	NO	NO	NO	NO	NO
20	400	3200	-2742635	NO	NO	NO	NO	NO
21	400	3200	-2270873	SI	NO	SI	NO	NO
22	400	3200	-1811371	SI	SI	SI	SI	SI
23	400	3200	-1363219	NO	NO	NO	NO	NO
24	400	3200	-925617	NO	NO	NO	NO	NO
25	400	3200	660190	NO	NO	NO	NO	NO
26	400	3200	1169502	NO	NO	SI	NO	NO
27	400	3200	1664853	NO	SI	NO	NO	NO
28	400	3200	2147330	SI	NO	NO	NO	NO
29	400	3200	2617889	SI	NO	NO	NO	NO
30	400	3200	3077371	NO	NO	NO	NO	NO
31	400	3200	4485912	NO	NO	SI	NO	NO
32	400	3200	5019477	NO	NO	NO	NO	NO
33	400	3200	5538416	NO	SI	NO	SI	NO
34	400	3200	6043868	NO	NO	NO	NO	NO
35	400	3200	6536835	SI	NO	NO	NO	NO
36	400	3200	7018197	SI	NO	NO	NO	NO