



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO  
MAGISTER NÁUTICO Y MARÍTIMO  
TEORÍA NÁUTICA**

**PROFESORE GUÍA: BORIS GUERRERO  
ESTUDIANTE: OSCAR IVAN CARDOZO  
SEMESTRE I / 2015**

LIBRO CON CURVAS HIDROSTÁTICAS, CRUZADAS, CURVAS  
DE ESTABILIDAD INICIAL Y CORREGUIDA, CUADRO DE  
CARGA

**BUQUE PETROLERO DWT 6200 – OIL TANKER**

## INDICE

INTRODUCCIÓN.....	4	CORTES HORIZONTALES DESDE VISTA TRANSVERSAL Y GENERACIÓN DE KN Y VOLUMEN SEGÚN ESCORA.....	18
TABLA DE PUNTOS.....	5	TABULACIÓN DE DATOS VOL/ KN – EXCEL Y CREACIÓN DE LÍNEAS POLINOMICAS PARA LAS CURVAS CRUZADAS.....	19
MODELADO 3D.....	7	CREACIÓN DE TABLA DE LOS GoZ CON LA CURVA DE ESTABILIDAD CORREGIDA.....	22
GENERACIÓN DE DATOS HIDROSTÁTICOS.....	9	HALLAR ÁREAS DE ESTABILIDAD DINAMICA POR MEDIO DE FORMULAS MATEMATICAS PARA COMPARAR DATOS CON NORMAS OMI .....	23
INTERPRETACIÓN DE LOS VALORES GENERADOS POR LA OPCIÓN “HIDROSTÁTICAS” DEL SOFTWARE RHINOCEROS.....	10	NORMAS O.M.I. (Organización Marítima Internacional).....	24
METODO PARA HALLAR EL MOMENTO DE INERCIA TRANS. DE CADA CORTE PARA GENERAR EL BM Y KM.....	11		
TABULACIÓN DE DATOS HIDROSTÁTICOS PARA CADA CORTE Y POSTERIORMENTE CM POR CM .....	12		
CREACIÓN DEL CUADRO DE CARGA PARA DETERMINAR EL DESPLAZAMIENTO Y KG.....	13		
EXPERIMENTO DE INCLINACIÓN CON PENDULO PARA DETERMINAR EL GM DE LA EMBARCACIÓN.....	16		

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo ilustra el paso a paso del proceso que se debe realizar para hallar la estabilidad final de una embarcación por medio de la modelación 3D del casco, el desarrollo de las curvas hidrostáticas, cruzadas y el cuadro de carga y la comparación de los datos adquiridos con las normativas internacionales con el objetivo de constatar si la nave es estable o no.

En el caso particular, se hizo este trabajo con un buque petrolero clase NK NS, modelo 1983 serie D.W. 6200 tn. Para llevar a cabo este estudio se modeló el casco con Rhinoceros 5.0, el cual es un software que modela con tecnología NURBS, es decir modela sus curvas, planos y volúmenes por medio de puntos lo que lo hace ideal para trabajos náuticos.

Para el cálculo de las hidrostáticas se usó el programa Rhinoceros, el cual posee una aplicación especial para esto.

El desarrollo de la tabulación de los datos hidrostáticos, las curvas cruzadas y las curvas de estabilidad final, se hicieron en el programa Excel debido a que posee herramientas de tabulación y creación de funciones ideales para llevar a cabo este trabajo.

## TABLA DE PUNTOS

La tabla de puntos es un ordenamiento de una serie de valores numéricos (cotas), que nos permiten dibujar las secciones de los modelos.<sup>1</sup> (Figura N°1 y 2)

En la tabla de puntos trabajamos dos tipos de valores: 1) las semi mangas (Half Breadth) y 2) la Altura sobre la línea base (Height above base line).

- 1) Las semi mangas son todas las medidas que tienen un inicio desde el plano de crujía<sup>2</sup> [Center Line (C.L.)] hasta un punto x en una cuaderna cualquiera, teniendo en consideración una altura determinada, la cual es la línea de agua [Water Line (W.L.)], que para el caso de este buque petrolero están distribuidas una de otra cada 1 metro (mi). (Figura N°1).
- 2) La altura sobre la línea base es toda medida comprendida entre la línea base [Base Line (B.L.)] hasta un punto x en una cuaderna cualquiera. (Figura N°2).

TABLA DE PUNTOS

N° of Order	HALF BREADTH										POOP DE. S. L.	SHELL TOP LINE	
	C.L.	0.5 W.L.	1.0 W.L.	2.0 W.L.	3.0 W.L.	4.0 W.L.	5.0 W.L.	6.0 W.L.	7.0 W.L.	8.0 W.L.			10 W.L.
1/4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.10	5.10
A.P.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.85	5.85
1/8	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.135	0.135	0.140	0.140	0.145	0.150	0.155	0.160
1/2	0.295	0.295	0.295	0.295	0.295	0.300	0.300	0.305	0.305	0.310	0.315	0.320	0.325
3/8	0.410	0.410	0.410	0.410	0.410	0.415	0.415	0.420	0.420	0.425	0.430	0.435	0.440
1	0.470	0.470	0.470	0.470	0.470	0.475	0.475	0.480	0.480	0.485	0.490	0.495	0.500
1 1/2	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.505	0.505	0.510	0.510	0.515	0.520	0.525	0.530
2	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
3 1/2	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
3	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
3 1/2	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
4	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
5	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500

N° of Order	HALF BREADTH										POOP DE. S. L.	POOP DE. S. L.	ROW CHECK. L.
	C.L.	0.5 W.L.	1.0 W.L.	2.0 W.L.	3.0 W.L.	4.0 W.L.	5.0 W.L.	6.0 W.L.	7.0 W.L.	8.0 W.L.			
5	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
6	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
7	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
7 1/2	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
8	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
8 1/2	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
9	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
9 1/4	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
9 1/2	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
9 3/4	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
10	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500

Tabla de puntos Semi-manga (Half Breadth), Buque petrolero DWT 6200 (Figura N°1)

TABLA DE PUNTOS

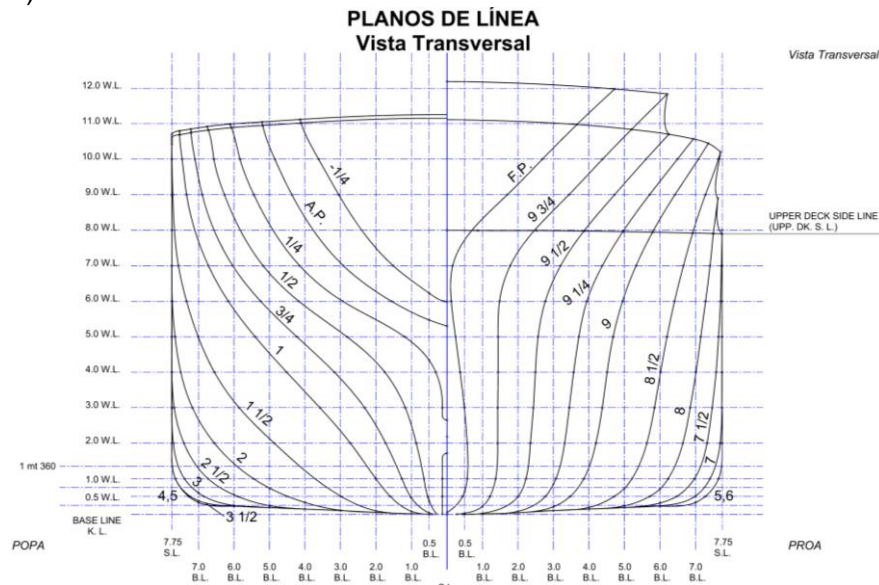
N° of Order	HEIGHT ABOVE BASE LINE										POOP DE. S. L.	POOP DE. S. L.	SHELL TOP LINE	N° of Order
	C.L.	0.5 W.L.	1.0 W.L.	2.0 W.L.	3.0 W.L.	4.0 W.L.	5.0 W.L.	6.0 W.L.	7.0 W.L.	8.0 W.L.				
1/4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1/4
A.P.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	A.P.
1/8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1/8
1/2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1/2
3/8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3/8
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1
1 1/2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1 1/2
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2
3 1/2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3 1/2
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3
3 1/2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3 1/2
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5

Tabla de puntos Altura sobre línea base (Height above base line), Buque petrolero DWT 6200 (Figura N°2)

<sup>1</sup>ESCUELA DE CONSTRUCCION DE MODELOS Y MATRICES, Arq. MIGUEL ANGEL LARDIES NAVARRO, Articulo virtual, <http://www.optinic.com.ar/repaciones/manual/matriz/01.htm>

<sup>2</sup> El plano de crujía es el plano longitudinal de simetría de una embarcación que va desde Proa a Popa y divide el barco en dos partes.

La tabla de puntos tiene dos tipos de información: datos de Proa y datos de Popa. Los datos de Proa, son todos aquellos para generar la parte frontal de la embarcación, mientras que los datos de Popa son los referentes a la parte posterior. Esta información se muestra de manera de un “Plano de líneas”, los cuales son planos de referencia que actúan como ejes para situar con respecto a este cualquier punto del buque. Para el caso de este trabajo se usó el Plano Transversal<sup>3</sup> para la construcción de las cuadernas. (Figura N° 3).



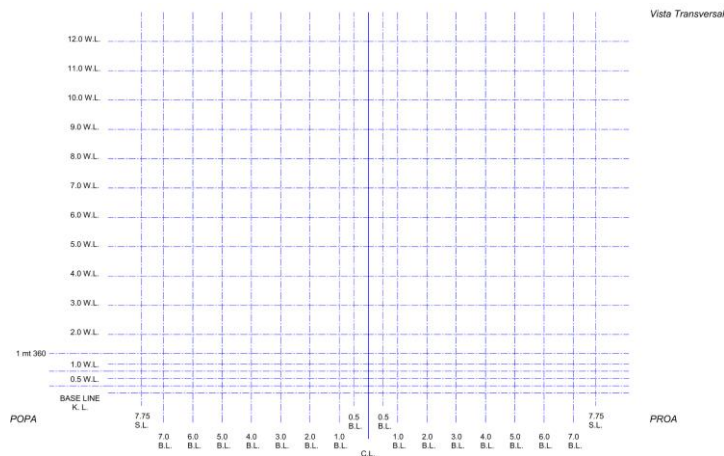
**Plano de líneas Transversal (Popa/Proa), Buque petrolero DWT 6200 (Figura N°3)**

<sup>3</sup> También conocido como plano YZ. Es aquel plano vertical perpendicular a los planos diametrales y de base. Se traza por la perpendicular media o por la perpendicular de popa. Divide longitudinalmente al barco en dos mitades iguales

## MODELADO 3D

Para la creación del modelo se utilizó el programa modelador Rhinoceros 5.0.<sup>4</sup>

Para esto se hizo un plano cartesiano. En el eje de las ordenadas (Y) se ubicaron las líneas de agua [Water Line (W.L.)] a una distancia de un (1) metro (mt), 0.5 W.L., 1.0 W.L., 2.0 W.L., ... 11.0 W.L.; en el eje de las abscisas (X), correspondiente a la línea base [Base Line (B.L.)], se ubicaron a una distancia determinada de un (1) metro (mt) los puntos 0.5 B.L., 1.0 B.L., 2.0 B.L.,... 7.50 B.L., en los cuales se referenciaran las alturas sobre la línea base (Height above base line).

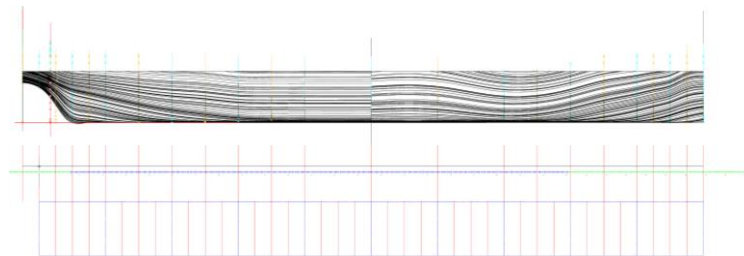


**Plano cartesiano para la construcción del plano transversal, Buque petrolero DWT 6200 (Figura N°4)**

<sup>4</sup> **Rhinoceros 3D** es una herramienta de software para modelado en tres dimensiones basado en NURBS. Es un software de diseño creado por Robert McNeel & Associates

El objetivo de este plano, es ubicar todos los puntos mencionados de la tabla de puntos en este para luego unirlos por medio de una línea interpolar y generar así las cuadernas de Proa y Popa. (Figura N°3).

Terminada la construcción de las cuadernas, se procede ubicarlas en el espacio con respecto al plano longitudinal y posteriormente por medio de una "Transición"<sup>5</sup> (loft), generar un plano a partir de estas líneas el cual sería el casco de la embarcación.



**Vista lateral, Buque petrolero DWT 6200 en construcción, programa Rhinoceros 4.0 (Figura N°5)**

Para la disposición de las cuadernas, el diseñador del buque ordeno la distancia entre cuadernas en "frames"<sup>6</sup>. Se manejan dos (2) magnitudes al momento de la disposición de las cuadernas: de la cuaderna A.P. ubicada en Popa al frame N°8 tienen una magnitud de 600 milímetros (mm); del frame N°8 al N° 115 tienen una magnitud de 700 milímetros (mm); del frame N° 115 a la cuaderna F.P. posicionada en Proa la magnitud vuelve ser de 600 milímetros (mm). La explicación del porque los frames en el centro de la embarcación

<sup>5</sup> Ajusta una superficie a través de curvas de perfil seleccionadas que definen la forma de un plano.

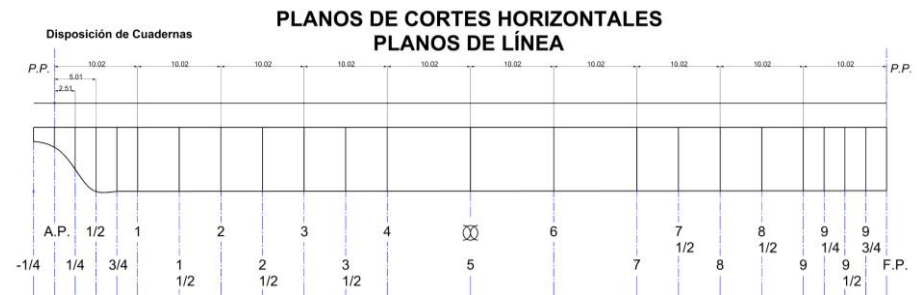
<sup>6</sup> "frame" es un cuadro con una distancia determinada que se usa en la construcción naval.

tienen un menor valor que los frames de Popa y Proa, se debe a que en el espacio comprendido de Popa y Proa posee una geometría más compleja que al centro del buque, por lo que se requiere de una mayor precisión a la hora de ubicar las cuadernas, y esto se hace por medio del uso de cuadros de medida con un valor menor a los 1000 milímetros (mm) el equivalente a un (1) metro.

Ubicación de las cuadernas según su frame:

1. -1/4
2. A.P.
3. 1/4
4. 1/2
5. 3/4
6. 1
7. 1 1/2
8. 2
9. 2 1/2
10. 3
11. 3 1/2
12. 4
13. 5
14. 6
15. 7
16. 7 1/2
17. 8
18. 8 1/2
19. 9

20. 9 1/4
21. 9 1/2
22. 9 3/4
23. F.P.

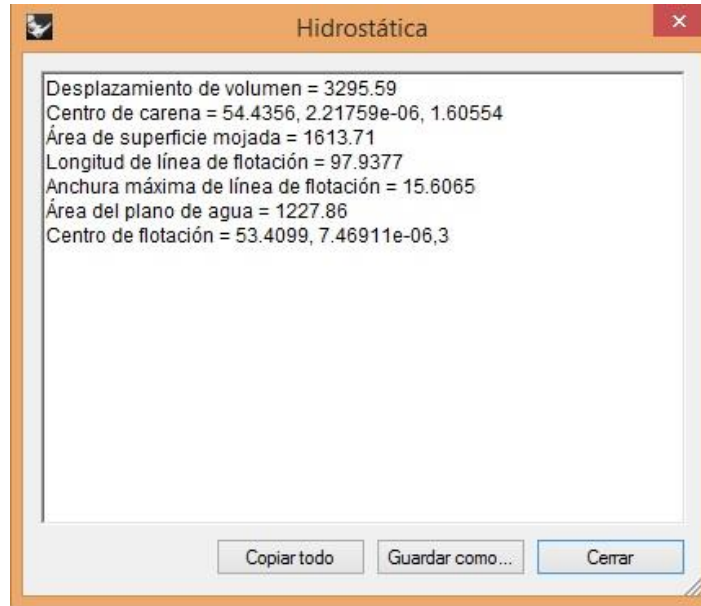


**Disposición de las cuadernas, Buque petrolero DWT 6200 (Figura N°6)**

Como puede observarse en la Figura N°6, la embarcación tiene una  $L_{pp}^7$  de 100.20 metros (mt), y está dividida diez (10) veces, a una medida de 10.02 metros (mt) cada división. Los espacios entre las cuadernas en Popa (1 – 4), y en Proa (7 – 9), son la mitad de cada distancia que se generó del dividir la  $L_{pp}$  diez (10) veces, es decir 5.01 metros (mt). La distancia comprendida entre las cuadernas de Popa (-1/4 – 1), y las cuadernas ubicadas en Proa (9 – F.P.), son la mitad del resultado anterior es decir 2.51 metros (mt), manteniéndose la proporción.

<sup>7</sup> Longitud entre perpendiculares en el plano de flotación. Es la medida que se usa entre el punto en que la línea de agua [Water Line (W.L.)] toca Proa y se genera una perpendicular en base a esta y la mitad del eje del timón el cual se ubica en Popa.

## GENERACIÓN DE DATOS HIDROSTÁTICOS



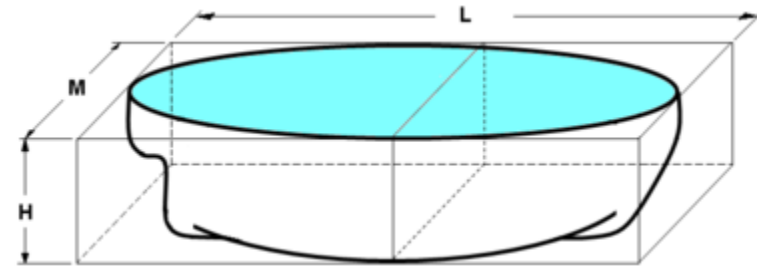
Datos hidrostáticos, Buque petrolero DWT 6200 (Figura N°7)

Cuando se tiene la embarcación en Rhino con la Eslora ubicada sobre el eje X y le dan “Análisis/Propiedades de Masa/Hidrostáticas” a su volumen, se genera este recuadro con ciertos datos que

<sup>8</sup> Desplazamiento es el volumen del casco sumergido “obra viva”, multiplicado por la densidad o gravedad específica “g.e.” del fluido en el cual se encuentra flotando, y su unidad es en Tonelada Métrica (TM).

<sup>9</sup> Alude al peso necesario (Toneladas Métricas), para que la embarcación se hunda un (1) centímetro (cm). Este valor se halla multiplicando el plano de flotación ( $A_w$ ) por la densidad o gravedad específica g.e. del fluido en el cual flota la embarcación dividido por 100.

ubicarán posteriormente en la tabla de Excel “Hidrostáticas”. Con estos datos mostrados por el programa se generarán otros datos como Desplazamiento (Despla)<sup>8</sup>, TPC (Tonelada Por Centímetro de Inmersión)<sup>9</sup>, Coeficiente de Block (CB)<sup>10</sup>, Coeficiente del área del plano de flotación (CW)<sup>11</sup>



Esquema de la Obra viva para el análisis de CW y CB (Figura N°8)

Coeficientes de área y volumen:

$$CW = A_w^{12} / L * M$$

$$CB = VOL^{13} / L * M * H$$

<sup>10</sup> Coeficiente de Block (CB) relación entre el volumen de la carena de un casco y el paralelepípedo que lo contiene (L=Eslora, B=Manga y T=Calado).

<sup>11</sup> Coeficiente del área del plano de flotación (CW) relación entre el área del plano de flotación y el área del rectángulo que la circunscribe (L=Eslora \* B=Manga).

<sup>12</sup>  $A_w$ : Área del plano de flotación.

<sup>13</sup> VOL: Volumen sumergido del casco “obra viva”.



## INTERPRETACION DE LOS VALORES GENERADOS POR LA OPCION "HIDROSTÁTICAS" DEL SOFTWARE RHINOCEROS

1. El valor "Desplazamiento de volumen: significa el volumen por debajo de la línea de agua, es decir el volumen sumergido. Este valor se usará para hallar el Coeficiente de Block "CB" y el Momento de Inercia Transversal.
2. Centro de carena: en este punto aparecen 3 números que corresponden a los ejes X, Y, Z. X, será el valor "LCB". Esta distancia es desde el punto de coordenada 0, 0,0 del programa hasta el punto "B" (punto de boyantez) Z, que es el tercer número, será la altura que hay desde la quilla (keel "K") hasta el punto B (Punto de Boyantez) ósea KB. Y no se tomará en cuenta para este trabajo.
3. Área de superficie mojada "S": como su nombre lo indica es la superficie por debajo de la línea de agua "W.L."
4. Longitud de línea de flotación "Lwl": Es la longitud máx. que tiene el Plano de flotación para el calado o la altura de corte que ustedes designaron, la cual se usará para hallar el Coeficiente de área del plano de flotación "CW".
5. Anchura máxima de línea de flotación "Bwl": Es la manga máxima que tiene el Plano de flotación para el calado o la altura de corte que ustedes designaron, la cual se usará para hallar el Coeficiente de área del plano de flotación "CW".
6. Área del plano de agua Aw: Área del plano de flotación. Este valor se usara para hallar las "TPC" (Toneladas Por Centímetro de Inmersión).
7. Centro de flotación LCF: en este punto aparecen 3 números que corresponden a los ejes X, Y, Z. X, será el valor "LCF". Esta distancia es desde el punto de coordenada 0, 0,0 del programa hasta el punto "F" (punto de flotación) que se ubica en el Plano de flotación. Z, que es el tercer número, será la altura que hay desde la quilla (keel "K") hasta el punto F (Punto de flotación) ósea KF. Y no se tomará en cuenta para este trabajo. Este punto es importante debido a que se usa como "el punto de pivote" de la embarcación de manera longitudinal o el llamado "cabeceo".

## **METODO PARA HALLAR EL MOMENTO DE INERCIA TRANS. DE CADA CORTE PARA GENERAR EL BM Y KM**

Dentro de los valores hidrostáticos generados por el software Rhinoceros, un valor que no se genera y que es muy importante para el cálculo del  $BM^{14}$  es el momento de inercia del plano de flotación de la embarcación debido a que para calcular el Radio Metacéntrico de la embarcación se hace por medio de la siguiente formula:

$$BM = \text{Momento Inercia Trans} / \text{VOLsumergido}$$

Posterior a esto se halla el  $KM^{15}$  el cual es la suma de KB y BM.

$$KM = KB + BM$$

Para el cálculo de este valor, se procede a “partir” el modelo a un calado determinado con el fin de poder trabajar el área del plano de flotación de la embarcación y hallar su momento de inercia transversal, es decir que a cada corte que se le haga al barco se le debe hallar su momento de inercia. Para este caso del trabajo del buque petrolero fueron 15 datos de momento de inercia debido a que fueron 15 cortes hechos al modelo.

Por esto mismo para cada “corte” a un determinado calado, que para el caso del buque petrolero DWT 6200 es cada medio metro (0.5 mt) de altura, para un total de 15 cortes, es decir una altura total de siete metros y medio (7.50 mt), considerando que el puntal del barco es de siete metros punto noventa (7.90 mt).

---

<sup>14</sup>  $BM$ =Radio Metacéntrico Transversal. Distancia entre el centro de Boyantez y el Metacentro de la embarcación.

Para calcular entonces dicho valor se procede a cortar el modelo por medio de un plano el cual simula la línea de agua (W.L.) (este debe tener un ancho y largo de mayor magnitud a la manga y eslora del modelo) el cual se ubica a una altura o calado determinado. Se procede a partir el barco y en consecuencia se generan dos (2) superficies. La superficie que se encuentra por encima del plano se elimina. Una vez eliminado la superficie superior se selecciona el plano y se le parte con la superficie inferior que para nuestro caso es la “obra viva”. Ya una vez partida se elimina el “sobrante” quedando como resultado el plano de flotación. A este plano se le hallarán los siguientes datos: área, momento de inercia transversal y centroide del área (punto de flotación). Esto se hace por medio de la herramienta Análisis/ Propiedades físicas/ Área, Centroide del área, Momentos de área.

En el momento de hallar el momento de inercia aparecerá el recuadro, del cual se toman los datos que corresponden a “*Momentos de Inercia del Área alrededor de los Ejes de Coordenadas del Centro de Gravedad*” de acá se toma el dato  $I_x$  que corresponde al momento de inercia transversal si la eslora de la embarcación se encuentra ubicada sobre el eje X, de estar ubicada en el eje Y se toma el dato  $I_y$ . Para el caso de este trabajo se tomó solamente el  $I_x$ , puesto que el  $I_y$  sería el momento de inercia longitudinal, que para el caso del curso Teoría Náutica 1 no fue pedido, pero cabe aclarar que con este dato se halla datos posteriores como el  $BM'$  (Radio Metacéntrico Longitudinal) y los MTC.

<sup>15</sup>  $KM$ =Posición vertical del metacentro. Distancia desde la quilla [Keel (K)] hasta el Metacentro de la embarcación.

## TABULACIÓN DE DATOS HIDROSTÁTICOS PARA CADA CORTE Y POSTERIORMENTE CM POR CM

Valores hidrostáticos a tener en cuenta a la hora de hacer la tabla tabulada:

<b>T</b>	Calado
<b>g.e.</b>	Gravedad Especifica del fluido
<b>TPC</b>	Tonelada Por Centimetro de Inmercion
<b>Lwl</b>	Eslora max. Línea de agua
<b>Bwl</b>	Manga max. Línea de agua
<b>Vol</b>	Volumen sumergido ("Obra viva")
<b>Despla</b>	Desplazamiento del buque
<b>LCB</b>	Longitud – Punto referencia – Punto Boyantez
<b>KB</b>	Distancia Quilla – Punto Boyantez
<b>CB</b>	Coefficiente de Block
<b>LCF</b>	Longitud – Punto referencia – Punto Flotación
<b>KF</b>	Distancia Quilla – Punto Flotación
<b>Aw</b>	Área del plano de flotación
<b>CW</b>	Coefficiente del área del plano de flotación
<b>S</b>	Área mojada del casco
<b>Mto Inercia Trans</b>	Momento de Inercia Transversal
<b>BM</b>	Radio Metacéntrico Transversal
<b>KM</b>	Distancia Vertical del Metacentro

## DATOS HIDROSTÁTICOS TABULADOS

BUQUE PETROLERO 6200 TM-TEORÍA NAÚTICA  
Oscar Ivan Cardozo

PROPIEDADES EMBARCACIÓN		
LDA	100,20	mt
Bread	15,50	mt
Depth	6,75	mt
	7,90	mt

Cortes	T	g.e.	TPC TM	Lwl	Bwl	Vol	Desplazamiento	LCB	KB	CB	LCF	KF	Aw	CW	S	Momento Inercia	BM	KM
	mt	TM(m)	TM	mt	mt	m3	TM	mt	mt		mt	mt	m2	mt	m2	m4	mt	mt
Lb L1	0,5	1,025	10,547	96,05	14,73	387,61	397,30	55,56	0,30	0,548	55,28	0,5	1028,97	0,727	1046	14,263,41	36,80	37,09
Lb L2	1,0	1,025	11,463	96,51	15,45	927,85	950,64	55,27	0,56	0,622	54,842	1,0	1118,38	0,750	1182,85	17,525,92	18,90	19,46
Lb L3	1,5	1,025	11,911	96,92	15,50	1498,68	1516,15	55,04	0,62	0,665	54,51	1,5	1162,02	0,778	1295,05	19,072,77	12,73	13,55
Lb L4	2,0	1,025	12,180	97,25	15,50	2086,66	2138,82	54,83	1,09	0,692	54,117	2,0	1189,33	0,788	1402,24	19,897,65	7,54	10,63
Lb L5	2,5	1,025	12,396	97,59	15,50	2686,19	2753,34	54,63	1,35	0,710	53,7	2,5	1209,33	0,799	1508,2	20,529,73	7,64	8,99
Lb L6	3,0	1,025	12,586	97,84	15,50	3295,59	3377,98	54,44	1,61	0,724	53,41	3,0	1227,88	0,809	1613,71	21,076,26	6,40	8,01
Lb L7	3,5	1,025	12,756	98,30	15,50	3913,75	4011,59	54,25	1,87	0,734	53,08	3,5	1244,53	0,817	1719,12	21,539,41	5,50	7,37
Lb L8	4,0	1,025	12,918	98,70	15,50	4539,97	4653,47	54,06	2,13	0,742	52,75	4,0	1260,33	0,824	1824,85	21,946,87	4,83	6,96
Lb L9	4,5	1,025	13,085	99,16	15,50	5174,15	5303,50	53,88	2,34	0,748	52,39	4,5	1276,55	0,831	1931,42	22,334,01	4,32	6,66
Lb L10	5,0	1,025	13,247	99,71	15,50	5816,78	5962,28	53,69	2,65	0,753	52,01	5,0	1294,96	0,837	2039,97	22,729,92	3,91	6,56
Lb L11	5,5	1,025	13,478	100,59	15,50	6468,97	6630,70	53,5	2,91	0,754	51,54	5,5	1314,97	0,843	2150,23	23,118,82	3,58	6,49
Lb L12	6,0	1,025	13,728	102,70	15,50	7132,36	7310,67	53,3	3,17	0,747	51,02	6,0	1339,31	0,841	2264,49	23,625,13	3,31	6,48
Lb L13	6,5	1,025	13,976	102,70	15,50	7806,22	8003,43	53,08	3,44	0,755	50,59	6,5	1361,48	0,837	2379,37	24,111,10	3,09	6,53
Lb L14	7,0	1,025	14,193	102,70	15,50	8495,36	8707,74	52,82	3,71	0,762	50,36	7,0	1384,72	0,870	2492,34	24,603,90	2,90	6,61
Lb L15	7,5	1,025	14,395	102,70	15,50	9192,69	9422,53	52,67	3,98	0,770	50,29	7,5	1404,42	0,882	2604,7	25,091,50	2,73	6,71

### Datos hidrostáticos tabulados, Buque petrolero DWT 6200 (Figura N°9)

Para el caso de generar una tabla de hidrostáticas centímetro (cm) por centímetro (cm), se ingresan "filas" entre los cortes hasta conseguir el número deseado. Por ejemplo en el caso de este trabajo se trabajó con 15 cortes cada uno a una distancia o calado de medio metro (0.5 mt), el equivalente a 50 centímetros (cm). Dicho esto se ingresaron 49 casillas entre cada corte, con el fin de hacer luego una aproximación de los valores restantes por medio de la fórmula:

Corte N°x= (Corte calado N°2) – (Corte calado N°1) / (Casilla a llenar) + (Corte calado N°1)

## CREACIÓN DEL CUADRO DE CARGA PARA DETERMINAR EL DESPLAZAMIENTO Y KG<sup>16</sup>

El Cuadro de Carga es una planilla de cálculo en que se ingresan todos los pesos que forman el “Dead Weight”, o ‘peso muerto’ de la nave. Una vez resuelto el cálculo del cuadro de carga se tendrá la siguiente importantísima información:

- Desplazamiento (o mejor dicho ‘peso’) de la nave.
- Posición vertical, longitudinal y lateral del centro de gravedad G. Previamente se dijo que una de las principales obligaciones del Capitán y del Primer Piloto es saber perfectamente la ubicación del centro de gravedad.
- Valor del efecto de “superficies libres”, o sea la subida virtual del centro de gravedad debido a ese efecto.

En las dos primeras filas están los datos de la ‘nave liviana’, o ‘light ship’, en celdas amarillas. Esos datos se encuentran en el respectivo Manual de Estabilidad y se calcularon al efectuarle el “Experimento de Inclinación” en la fase final de su fabricación en el astillero constructor.

En la primera columna se pone el nombre de todos los pesos que forman el ‘desplazamiento’ del barco.

En la segunda columna se indica el monto del peso, en toneladas métricas (TM). La sumatoria de esta columna nos dará el desplazamiento de la nave.

En la tercera columna se pone el valor de la posición longitudinal del correspondiente peso. En este caso dicha posición se mide con respecto a la **sección media** de la nave (punto medio entre las perpendiculares de proa y de popa). Convencionalmente se asigna valor positivo (+) a los pesos que se encuentran a **popa** de la sección media y negativo (-) a los pesos que están a **proa** de dicha sección.

En la cuarta columna se indica el producto de cada peso por su posición longitudinal, o sea su ‘momento longitudinal’. La sumatoria de esta columna nos dará la **suma de los momentos longitudinales**. Esta sumatoria es importante, ya que al dividirla por el desplazamiento (sumatoria de la segunda columna) obtendremos la importante “posición longitudinal” de centro de gravedad del barco (Mid G o LCG).

En la quinta columna se debe poner la posición vertical de cada uno de los pesos, obtenidas de la misma forma indicada anteriormente para las posiciones longitudinales.

En la sexta columna se calcula el momento vertical de cada peso, multiplicando su peso (segunda columna) por su posición vertical (quinta columna).

Para calcular la posición vertical del importante centro de gravedad de la nave (“G”) usaremos una operación similar a la empleada anteriormente para calcular MID G. Posteriormente demostraremos la justificación de la operación matemática, cuando expliquemos el teorema de Varignon.

---

<sup>16</sup> Humboldt Marine Training, Capitulo Cuadro de Carga, Ing. Naval Boris Guerrero, Chile/ Valparaíso, 2011,

En el cuadro de carga se considera como un solo peso la “constante”, que es un ítem en que se reúne una infinidad de pesos menores tales como víveres, efectos personales de la tripulación, espías, maniobra, trincas para la carga, repuestos, vajilla, aceites lubricantes, pequeños estanques, etc... De esta forma se facilita el trabajo de resolver el cuadro de carga.

La constante debe recalcularse cada cierto tiempo, ya que normalmente va aumentando, al agregarse nuevos equipos, por el óxido de planchas, pintura, etc. Ello se nota al existir diferencia entre los calados calculados teóricamente y los calados observados, especialmente si la diferencia obtenida se mantiene más o menos igual en muchas condiciones de carga calculadas por el analista de la estabilidad. Una buena oportunidad para recalcular la constante es al entrar a dique seco, ya que es la condición más liviana que puede tener y las aguas están muy tranquilas, por lo que puede efectuarse una inspección de calados (draft survey) y luego buscar la nueva constante en que coincidan los calados calculados teóricamente con los observados.

(4) DETERMINATION OF LIGHT WEIGHT AND CENTER OF GRAVITY (軽重算及重心位置の算定)						
ITEMS	WEIGHT	CG	MOMENT	KG	MOMENT	I x の (t-m)
	(t)	(m)	(t-m)	(m)	(t-m)	
WEIGHT TO BE DEDUCTED	①	②	③=①×②	④	⑤=③×④	
Tanks	572.86	(-23.75)	-13602.83	( 2.37)	1358.30	
Small tanks in E. Rm.	13.48	( 33.91)	457.11	( 8.22)	110.86	
Operator and Others	25.16	( 9.87)	248.44	(10.33)	252.93	
TOTAL	611.50	(-21.09)	-12897.28	( 2.83)	1722.07	
WEIGHT TO BE ADDED :	7.47	(-41.98)	313.58	( 6.77)	50.59	
DISPLACEMENT AT EXPERIMENT	2777.48	1.83	4999.46	5.33	14803.97	
WEIGHT TO BE DEDUCTED	-611.50	(-21.09)	12897.28	( 2.83)	-1722.07	
WEIGHT TO BE ADDED	7.47	(-41.98)	313.58	( 6.77)	50.59	
TOTAL	2173.45	8.38	18210.32	6.04	13125.49	
LIGHT WEIGHT	2173.45	8.38	18210.32	6.04	13125.49	
Net	2173	8.38	18210	6.04	13125	

“Determinación del buque liviano y Centro de gravedad”, Buque petrolero DWT 6200 (Figura N°10)<sup>17</sup>

(5) DETAIL OF WEIGHT TO BE DEDUCTED (卸すべきものの詳細)						
ITEMS	WEIGHT	CG	MOMENT	KG	MOMENT	I x の (t-m)
	(t)	(m)	(t-m)	(m)	(t-m)	
	①	②	③=①×②	④	⑤=③×④	
TANKS :						
F. P. T. (H.B.) (C)	170.78	-46.32	-7910.53	4.21	718.98	
NO.1 H.B.T. (P)	81.48	-36.78	-2996.83	0.82	66.81	
NO.1 H.B.T. (S)	82.10	-36.79	-3020.46	0.83	68.14	
NO.2 H.B.T. (P)	76.80	-19.52	-1499.14	0.78	59.90	
NO.2 H.B.T. (S)	76.80	-19.52	-1499.14	0.78	59.90	
NO.6 D.O.T. (P)	12.22	31.06	379.55	0.34	4.15	39
NO.6 D.O.T. (S)	11.92	31.95	379.12	0.35	4.17	40
NO.7 F.H.T. (P)	26.60	42.94	1142.20	7.03	187.00	
NO.7 F.H.T. (S)	26.60	42.94	1142.20	7.03	187.00	
L.O.R.T. (C)	2.83	35.50	100.47	0.18	0.51	2
L.O.U.T. (C)	2.98	40.16	119.68	0.31	0.92	3
B. T. (P)	0.83	43.07	35.75	0.28	0.23	
ENG. ROOM BILGE (A)(C)	0.44	44.95	19.78	0.34	0.15	
ENG. ROOM BILGE (P&S)	0.48	28.15	13.52	0.90	0.44	
TOTAL:	572.86	(-23.75)	-13602.83	( 2.37)	1358.30	84

Detalle de los pesos a ser deducidos”, Buque petrolero DWT 6200 (Figura N°11)

<sup>17</sup> Tomado de la clase N°6 (Experimento de inclinación) de Teoría Náutica 1 dirigidas por el profesor Ing. Naval Boris Guerrero.

(6) DETAIL OF WEIGHT TO BE ADDED (搭載すべきものの詳細)					
ITEMS	WEIGHT	KG	MOMENT	KG	MOMENT
	(t)	(t)	(t-m)	(m)	(t-m)
	①	②	③=①×②	④	⑤=①×④
OPERATOR & OTHERS:					
PERMS FOR TEST	0.48	4.70	2.26	8.96	4.30
OPERA. & EQUIP. (F)	0.13	-36.30	-4.72	11.70	1.52
OPERA. & EQUIP. (A)	0.32	25.70	8.22	11.20	3.58
SHIPPING WEIGHT	19.63	4.70	92.26	8.93	175.30
LIFE BOAT TEST WEIGHT	4.60	32.70	150.42	16.35	75.21
TOTAL :	25.16	( 9.87)	248.44	( 10.33)	259.91
EQUIP. & FITT.					
ANCHOR (P)	2.76	-49.50	-136.62	8.50	23.46
ANCHOR CHAIN	4.32	-44.40	-191.81	5.00	31.60
OXY. & ACETYLEN	0.16	40.40	6.46	16.00	2.56
PAINTS	0.20	38.00	7.60	13.00	2.60
AWNING	0.03	26.40	0.79	12.20	0.37
TOTAL :	7.47	(-41.98)	313.58	( 6.77)	50.59

“Detalle de los pesos a ser adheridos”, Buque petrolero DWT 6200 (Figura N°12)

Para el trabajo del buque petrolero, los datos que fueron tomados de una presentación digital hecha por el profesor Ing. Naval Boris Guerrero. En dicha tabla se muestra como había mencionado anteriormente el buque liviano, con su respectivo desplazamiento, momentos vertical y longitudinal y posición de KG los cuales son:

Descripción W	Unidad	Magnitud
Buque Liviano	Tn	2173.45
Tanques	Tn	572.86
Tanques peq. ENG. Room	Tn	13.45
Operadores y otros	Tn	25.16
Equipos y Adicionales	Tn	7.47
<b>TOTAL W</b>	<b>Tn</b>	<b>2792.39</b>
<b>KG</b>	<b>mt</b>	<b>5.33</b>

EL KG se halla con el experimento de inclinación que ya se verá en el siguiente capítulo a este. Por ahora los datos a tener en cuenta para introducir en las tablas de estabilidad son el Desplazamiento total del buque que para este caso son 2792.39 toneladas (Tn) y su KG que es de 5.33 metros (mt).

## EXPERIMENTO DE INCLINACIÓN CON PENDULO PARA DETERMINAR EL GM DE LA EMBARCACIÓN<sup>18</sup>

### Objetivo del experimento de inclinación

Determinar la posición real del Centro de Gravedad “G” para una cierta condición de carga, en general, y para la condición Barco Liviano (Light Ship), en especial.

Este experimento se realiza cuando se construye una nave, cuando una nave usada llega a un país diferente al país de construcción, Luego de realizarse cambios o transformación considerables a la nave que excedan un 2% del desplazamiento de la embarcación o al existir dudas sobre la posición de “G”.

### Procedimiento y medidas a tomar<sup>19</sup>

1. Deberá realizarse, en lo posible, en dique, a flote y con la compuerta cerrada, o en un sitio de aguas muy quietas.
2. La nave debe estar sin fondear el ancla y con las amarras sueltas.
3. Los líquidos deben estar apretados (estanques llenos o totalmente vacíos). Tomar sondas con la mayor exactitud.

4. Tomar calados con la mayor exactitud (proa, centro y popa). Medir la densidad del agua de mar (mitad del calado) en 3 partes de la eslora.
5. Tratar de no tener “asiento” (Trim).
6. Tener el mínimo de pesos a bordo. Todos los pesos no considerados en el “barco liviano” deberán inventariarse, indicando el peso y sus 3 coordenadas rectangulares (distancia a popa, sobre la quilla y a cruzía (center line)).
7. Los pesos que puedan moverse deberán estar bien trincados. La tripulación debe desembarcarse.
8. Se proveerá un (o varios) peso movable que tenga un valor cercano al 0,5 % del desplazamiento W de la nave. La escora debe ser del orden de 1,5° a 2°, en lo posible.
9. Se deberá contar con una plomada de unos 3 metros de largo (no menos de 2 metros), una reglilla y un balde con aceite de gran viscosidad. En naves de más de 100 metros de eslora deberán usarse 2 o 3 plomadas en distintas posiciones de la eslora del barco.
10. Es conveniente contar con la presencia de la Autoridad Marítima, para que el Experimento sea reconocido.

---

<sup>18</sup> Tomado de la clase N°6 (Experimento de inclinación) de Teoría Náutica 1 dirigidas por el profesor Ing. Naval Boris Guerrero.

<sup>19</sup> Tomado de la clase N°6 (Experimento de inclinación) de Teoría Náutica 1 dirigidas por el profesor Ing. Naval Boris Guerrero.

## Procedimiento

1. Estando el peso (o los pesos) móvil (es) a bordo se toman los calados. Las personas que participan tendrán sitios de ubicación bien determinados y se registrará el peso y estatura de cada uno.
2. Se mueve el primer peso lateralmente. Se anota la distancia lateral, el valor del peso y la lectura en la reglilla.
3. El movimiento se repite con los otros pesos, anotando cada vez las medidas del traslado, el peso y la lectura de la reglilla.

(2) DRAFT AND DISPLACEMENT AT THE TIME OF EXPERIMENT (傾斜試験時に於ける吃水及び排水量)			
ATTENDANT SOCIETY'S INSPECTOR (検査官)	N.K. (該社検査官) J.G. (検査官)		
ATTENDANT OWNER'S REPRESENTATIVE (監督)	庭瀬 工 監督		
DATE (年, 月, 日)	MAY 16 1983 (58.5.16)	TEMPERATURE OF SEA WATER (水温)	16 °C
PLACE (場所)	Off Dockyard (当所岸壁)	TEMPERATURE OF ATMOSPHERE (気温)	20 °C
WEATHER (天候)	Rain (小雨)	SPECIFIC GRAVITY OF SEA WATER (海水比重)	$\rho = 1.0245$
WIND (風向及び風速)	SW - 1 m/s	CONDITION OF SEA (海象)	Smooth (穏やか)

CONDITION OF SHIP (船舶の配置)	

“Calado y Desplazamiento al tiempo del experimento”, Buque petrolero DWT 6200 (Figura N°13)

(3) POSITION OF CENTER OF GRAVITY AT THE TIME OF EXPERIMENT (傾斜試験時の重心位置)								
CORRECTED MEAN DRAFT (修正後の平均吃水)	$dm_s = d$ (m)		2.533					
ACTUAL DISPLACEMENT (試験時の排水量)	W (T)		2777.48					
SPAN OF U-TUBE (U-チューブの長さ) : L (m)	FORE (前部)		15.135					
	AFT (後部)		15.295					
No. of shifting (移動順番)	1	2	3	4				
POSITION OF WEIGHTS (重量物の位置)	(P)左舷							
	(S)右舷		○●	○	○●	○●	○●	○
SHIFTING WEIGHT (重量) : $W_s$ (T)	9.84			9.79				
DISTANCE (移動距離) : Y (m)	13.10							
HEELING MOMENT (移動モーメント) : $W_s \times Y$ (T-m)	128.904				128.249			
POSITION OF MEASUREMENT (計測位置)	AFT (後部)	FORE (前部)	AFT (後部)	FORE (前部)	AFT (後部)	FORE (前部)	AFT (後部)	FORE (前部)
	199.7	187.4	200.8	188.0	197.9	195.8	201.8	193.4
READING (読み) : R (mm)	1.306	1.238	1.313	1.242	1.294	1.294	1.319	1.278
$\tan \theta$ (R/L) ( $\times 10^{-2}$ )	0.01272	0.01278	0.01294	0.01299				
MEAN (平均の) $\tan \theta$	0.01272		0.01278		0.01294		0.01299	
$GoM = \frac{W_s \cdot Y}{W \cdot \tan \theta}$ (m)	3.65		3.63		3.57		3.55	
MEAN (平均の) GoM (m)	3.60							
$GG_0 = \frac{\sum(i \times \rho)}{W}$ (m)	0.03		FREE SURFACE OF LIQUID (自由液面の影響)					
GM = GoM + GG <sub>0</sub> (m)	3.63		TANK NAME (タンク名)					
AT DRAFT OF d (吃水dにおける) KM (m)	8.96		MOMENT $i \times \rho$ (T-m)					
KG = KM - GM (m)	5.33		No.6 D.O.T.(P)		39			
AT DRAFT OF d (吃水dにおける) MTC (T-m)	69.37		No.6 D.O.T.(S)		40			
$EG - EB = EG = \frac{100 \times MTC \times TRIM}{W}$ (m)	3.81		L.O.R.T.(C)		2			
AT DRAFT OF d (吃水dにおける) EB (m)	-2.01		L.O.D.T.(C)		3			
EG + EB = EG (m)	1.80		TOTAL $\sum(i \times \rho)$					
			84					

“Posición del centro de gravedad en el tiempo del experimento”, Buque petrolero DWT 6200 (Figura N°14)



Como se puede apreciar en el experimento de inclinación del buque petrolero, se ubicaron dos pesos diferentes, uno en Babor y otro en Estribor con una distancia de separación a centro de 13.10 metros (mt). Los pesos no son del todo iguales pues uno tiene una magnitud de 9.84 toneladas (Tn) y el otro 9.79 toneladas (Tn).

En el primer experimento los dos (2) pesos se ubican en Estribor (S), dando como resultado un GoM de 3.65 metros (mt).

Para el segundo experimento se ubica un peso en Estribor (S) y otro en Babor (P), y da un GoM de 3.63 metros (mt).

Al tercer experimento se posicionan los dos pesos en Babor (P), produciendo un GoM de 3.57 metros (mt).

En el cuarto y último experimento se ubican nuevamente un peso en Estribor (S) y el otro en Babor (P), dando como resultado un GoM de 3.55 metros (mt).

Para determinar el GoM se usa una formula en particular la cual es:

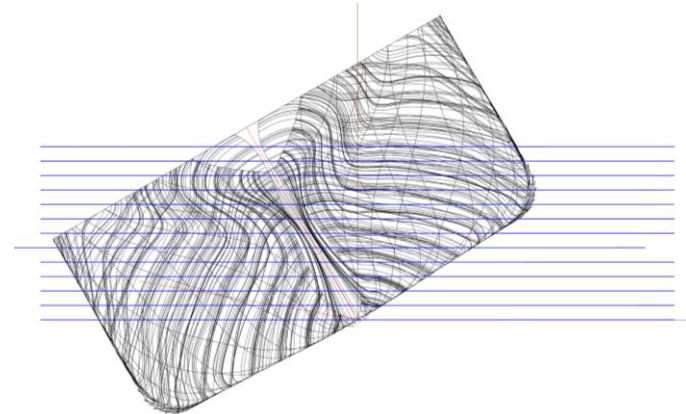
$$\text{GoM} = w * dx / W * \tan \theta$$

w= magnitud del peso colocado, dx= distancia en que se trasladó ese peso, W= desplazamiento del buque,  $\tan \theta$ = tangente del ángulo consecuencia de la posición de los pesos en la cubierta de la embarcación.

Luego de realizar los cuatro (4) experimentos se promedian los resultados y como resultado final da 3.60 metros (mt) para GM.

En la tabla se puede apreciar el KG final que es de 5.33 metros (mt).

## CORTES HORIZONTALES DESDE VISTA TRANSVERSAL Y GENERACIÓN DE KN Y VOLUMEN SEGÚN ESCORA



Vista frontal, cortes horizontales al Buque petrolero DWT 6200 con un ángulo de escora (Figura N°15)

El desarrollo de este paso es crucial para el cálculo de la estabilidad de la embarcación que estamos diseñando, pues a partir de estos cortes se descubren los KN para cada Angulo de escora, con los que se harán las curvas cruzadas que son el paso para encontrar la curva de estabilidad de la nave.

Para llevar a cabo esto se debe entender que el punto "G" se va llevar al punto "K", el cual es el punto más bajo de la embarcación o la quilla. Esto se debe de entender debido a que los brazos de adrizamiento dependen de tres variables: Angulo de escora, desplazamiento y altura del centro de gravedad. Dicho esto el punto

“G” se lleva al punto inferior del barco para manejar dos (2) variables y hacer más sencillo el proceso en el cálculo de la estabilidad.

Los cortes horizontales se generan sobre la embarcación, eso sí teniendo este un grado de inclinación ya sea de 5°, 10°, 20°... 90°, con el objetivo de calcular el volumen del corte que se ejecutó y hallar su centroide. Se halla el centro geométrico del corte causado con el fin de medir la distancia que hay entre el “G” ubicado en la quilla y el punto de boyantez para este corte. Esa longitud entre estos puntos es el KN. Para el caso de este buque se hicieron por cada Angulo de escora un aproximado de 12 cortes o hasta un volumen de 7500 m3, lo que es equivalente a 12 datos de Vol. y KN por ángulo (Figura N°15).

## TABULACIÓN DE DATOS VOL/ KN – EXCEL Y CREACIÓN DE LÍNEAS POLINOMICAS PARA LAS CURVAS CRUZADAS

Una vez obtenidos los datos de los Kn y volúmenes de los cortes a diferentes escoras se procede hacer la tabulación de los datos. Este paso es importante puesto que después con estos datos se hacen las curvas cruzadas a las cuales luego se les generará una función polinómica para hallar cualquier dato de Volumen o KN dentro de la curva.

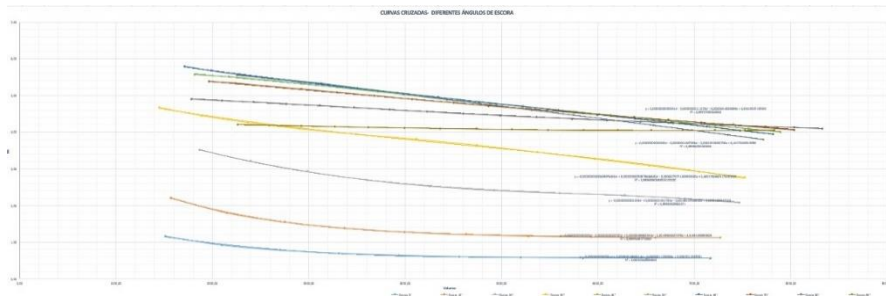
Para la creación de la tabla, se ubicaran los ángulos de escora de 5°, 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80° y 90°. Para cada ángulo se ubicaran dos columnas: Volumen y KN los cuales su valor dependerán del calado o la altura a la que se hizo el corte (Figura N°16).

		ANGULOS DE ESCORA																						
Ang. Giro	T	5		10		20		30		40		50		60		70		80		90				
		Vol	KN eje X	Vol	KN eje X	Vol	KN eje X	Vol	KN eje X	Vol	KN eje X	Vol	KN eje X	Vol	KN eje X	Vol	KN eje X	Vol	KN eje X	Vol	KN eje X			
0	0																							
1	0.5																							
2	1.0																							
3	1.5	154.14	1.16	167.32	2.29	182.73	3.52	201.44	4.88	223.75	6.38	249.75	8.04	284.64	9.88	328.52	11.92	381.52	14.28	443.68	16.88	516.08		
4	2.0	283.22	0.82	244.30	1.60	237.84	2.25	236.63	2.89	243.20	3.63	249.50	4.47	254.61	5.40	260.34	6.43	260.64	7.52	255.28	8.72	235.28	10.16	188.8
5	2.5	275.23	0.78	275.53	1.01	283.20	1.25	345.75	1.55	407.00	1.94	474.00	2.40	536.50	2.93	594.25	3.58	647.25	4.40	691.00	5.38	728.75	6.52	759.25
6	3.0	333.50	0.70	338.00	1.08	367.75	1.50	412.10	1.98	474.50	2.55	544.00	3.28	624.50	4.18	714.00	5.28	814.00	6.58	924.00	8.08	1044.00	9.78	1174.00
7	3.5	252.70	0.84	259.61	1.20	265.12	1.53	274.27	1.94	284.57	2.43	295.04	2.99	305.68	3.61	316.48	4.30	327.44	5.00	338.36	5.78	349.34	6.64	360.42
8	4.0	452.24	0.61	463.36	1.24	451.73	1.82	506.84	2.46	565.68	3.23	628.32	4.07	693.75	5.02	762.00	6.12	833.25	7.38	906.00	8.84	981.25	10.52	1058.75
9	4.5	519.69	0.69	527.27	1.00	561.04	1.24	595.10	1.57	637.49	2.00	704.42	2.52	775.00	3.10	848.12	3.82	923.88	4.68	1006.50	5.70	1092.75	6.92	1182.00
10	5.0	684.67	0.57	692.79	1.16	627.48	1.20	625.34	1.09	689.29	1.46	723.28	1.91	764.27	2.40	812.36	2.94	861.64	3.54	912.12	4.30	962.46	5.22	1014.24
11	5.5	650.06	0.57	654.77	1.25	699.79	1.20	705.02	1.02	750.43	1.33	782.2	1.69	817.23	2.16	854.64	2.84	902.64	3.68	950.04	4.70	1000.44	5.82	1049.84
12	6.0	785.74	0.57	721.63	1.20	746.36	1.00	724.16	0.77	770.22	1.09	780.04	1.40	795.44	1.94	802.46	2.52	802.08	3.22	802.08	4.00	802.08	4.92	802.08

Cuadro de Vol y KN según el ángulo de escora, Buque petrolero DWT 6200 (Figura N°16)

Terminado la ubicación de los datos, se procede hacer una gráfica de puntos de dispersión con curva para cada escora y generar las curvas cruzadas.

Las curvas cruzadas son una gráfica de líneas que indican la magnitud del KN según un volumen para un ángulo de escora determinado. Estas se utilizan para determinar la curva inicial y final de estabilidad de una embarcación (figura N°17).

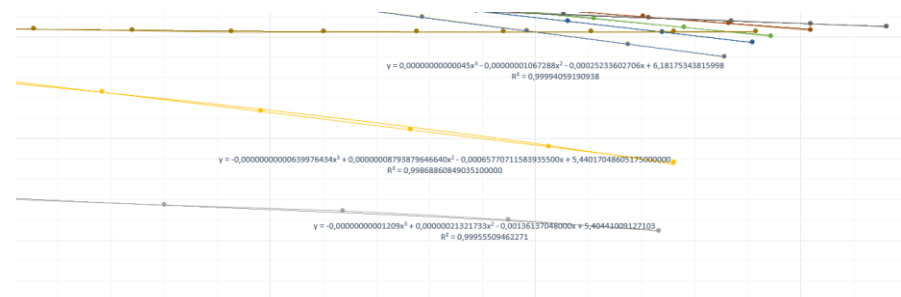


**Curvas cruzadas, Buque petrolero DWT 6200 (Figura N°17)**

Finalizado la creación de las curvas cruzadas se procede a generar las curvas polinómicas para cada línea de escora, las cuales nos servirán para hallar cualquier valor de Volumen o KN. Para el caso del ejercicio servirá para saber los valores de los números “redondos” (números múltiplos de 100, 1000) en este caso los valores de los brazos de adrizamiento de acuerdo a un volumen “redondo”.

Para esto se procede a escoger una curva cruzada, se le da click derecho y se escoge la opción “Formato de línea de tendencia”, allí se abrirá un cuadro con unas opciones de línea de tendencia. Dentro de las opciones se escogerá la línea polinómica en un orden N°. EL orden determina el número de exponentes que tendrá la ecuación

para esa línea. Cabe resaltar que al momento de escoger el orden de la línea hay que verificar que la línea de tendencia sea igual a la línea cruzada visualmente, pero matemáticamente se sabrá si se acerca a lo que queremos por medio del valor R cuadrado del gráfico, el cual indica el grado de exactitud de la nueva curva que se está generando, y para identificar si es acertado o no lo que se hace, dicho valor R tiende aproximarse a 1; el valor entre más cercano a 1, por ejemplo 0,999998 dará indicio de que su valor y representación son correctas (Figura N°18).



**Ecuación y dato R para curvas cruzadas, Buque petrolero DWT 6200 (Figura N°18)**

Una vez que se le dio a la opción de mostrar el valor R, se escoge paralelamente “Presentar ecuación del gráfico”. Estos dos (2) valores se les darán click derecho y se les dará “Formato de etiqueta de línea de tendencia” el cual desplegará un cuadro de opciones. Dentro de las opciones en la opción número/ categoría, se debe de escoger la opción número y dar opción decimales y poner un valor mayor de 10. Para el caso de este trabajo se escogió 14 decimales.

El resultado es una ecuación de N° exponenciales. Este paso debe hacerse con todas las curvas cruzadas, y una vez obtenidas las ecuaciones se organizan por ángulos de escora.

Se genera una casilla a la cual se le denomina Volumen con un valor que se encuentre entre los volúmenes analizados de la embarcación que uno está estudiando. Para el caso del buque petrolero DWT 6200 los volúmenes a manejar se dispusieron entre 2000 metros cúbicos (m3) y 7500 metros cúbicos (m3).

Se procede a ubicar la coordenada de la casilla de la magnitud del volumen en cada exponencial. El cual se multiplicará con el resultado de ese exponencial y el resultado se elevará al valor del exponente el cual estaba determinado desde un principio.

Esto se hace con el objetivo que cada vez que uno pone un valor en la casilla de Volumen, el valor se multiplicará con cada exponencial de la ecuación generando la posición de ese valor en la curva polinómica, mostrando como resultado la posición de ese punto en el eje del volumen y los brazos de adrizamiento (KN).

Este procedimiento se hace con todas las ecuaciones para luego poner en la casilla de volumen los números “redondos” y proceder a llenar la tabla de los brazos de adrizamiento vs volumen dependiendo de su ángulo de escora (Figura N°19).

BRAZO DE ADRIZAMIENTO SEGÚN ÁNGULO DE ESCORA KN (mt)											
Ang Esc	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
VOL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	0	0,97	1,92	3,44	4,40	5,64	5,55	5,68	5,38	4,88	4,22
2100	0	0,95	1,87	3,38	4,37	5,61	5,52	5,65	5,36	4,86	4,21
2200	0	0,92	1,82	3,32	4,33	5,58	5,50	5,61	5,33	4,85	4,21
2300	0	0,89	1,77	3,26	4,30	5,55	5,47	5,58	5,31	4,84	4,20
2400	0	0,87	1,72	3,20	4,27	5,52	5,45	5,55	5,29	4,82	4,20
2500	0	0,84	1,67	3,14	4,24	5,49	5,43	5,51	5,26	4,81	4,19
2600	0	0,82	1,63	3,10	4,21	5,46	5,40	5,48	5,24	4,79	4,18
2700	0	0,80	1,59	3,05	4,18	5,43	5,37	5,45	5,22	4,78	4,18
2800	0	0,78	1,56	3,01	4,15	5,40	5,35	5,42	5,19	4,76	4,17
2900	0	0,76	1,52	2,96	4,12	5,37	5,32	5,38	5,17	4,75	4,17
3000	0	0,74	1,48	2,91	4,09	5,34	5,30	5,35	5,15	4,73	4,16
3100	0	0,72	1,46	2,88	4,06	5,31	5,27	5,32	5,12	4,72	4,16
3200	0	0,71	1,43	2,84	4,04	5,28	5,25	5,29	5,10	4,71	4,15
3300	0	0,70	1,40	2,81	4,01	5,25	5,22	5,26	5,08	4,69	4,15
3400	0	0,68	1,38	2,77	3,98	5,22	5,20	5,23	5,05	4,68	4,14
3500	0	0,67	1,35	2,73	3,95	5,19	5,17	5,20	5,03	4,66	4,14
3600	0	0,66	1,33	2,71	3,92	5,16	5,14	5,17	5,01	4,65	4,13
3700	0	0,65	1,31	2,68	3,90	5,12	5,12	5,14	4,99	4,64	4,13
3800	0	0,64	1,30	2,65	3,87	5,09	5,09	5,11	4,96	4,62	4,12
3900	0	0,63	1,28	2,62	3,84	5,06	5,06	5,08	4,94	4,61	4,12
4000	0	0,62	1,26	2,60	3,82	5,03	5,04	5,05	4,92	4,59	4,11
4100	0	0,62	1,25	2,58	3,79	5,00	5,01	5,02	4,90	4,58	4,11
4200	0	0,61	1,24	2,56	3,76	4,97	4,98	4,99	4,87	4,57	4,11
4300	0	0,61	1,23	2,54	3,74	4,93	4,96	4,96	4,85	4,55	4,10
4400	0	0,60	1,22	2,51	3,71	4,90	4,93	4,93	4,83	4,54	4,10
4500	0	0,60	1,21	2,49	3,69	4,87	4,90	4,90	4,81	4,53	4,09
4600	0	0,60	1,20	2,48	3,66	4,84	4,87	4,88	4,78	4,51	4,09
4700	0	0,59	1,19	2,46	3,63	4,81	4,85	4,85	4,76	4,50	4,09

Ecuación y dato R para curvas cruzadas, Buque petrolero DWT 6200 (Figura N°19)

## CREACIÓN DE TABLA DE LOS GoZ CON LA CURVA DE ESTABILIDAD CORREGIDA

Una vez completado el cuadro de carga y observado el Kg final, se procede a llevar este dato al cuadro de brazos de adrizamiento. Para hallar los GoZ. Para esto se saca el Sen  $\theta$  de cada ángulo de escora.

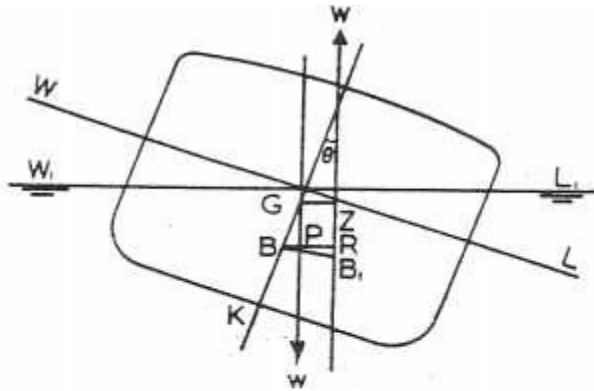
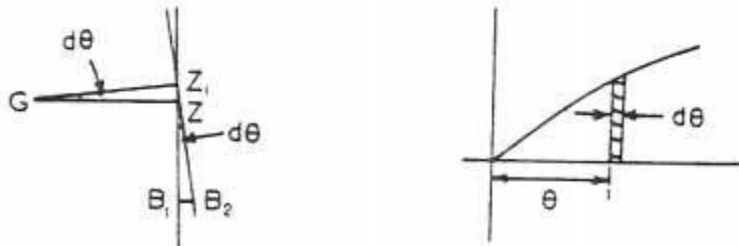


Fig.120 (a)



Brazo de adrizamiento, (Figura N°20)

Luego se multiplica el KG por Sen  $\theta$ ; este dato es la longitud entre el punto de boyantez y la perpendicular que pasa por "G", el cual se

resta al dato de KN para dar el verdadero brazo de adrizamiento (GZ) para cada ángulo de escora (Figura N°20).

$$KG \text{ Sen } \Theta = KG * \text{Sen } \Theta$$

$$GZ = KN - KG \text{ Sen } \theta$$

BRAZOS DE ADRIAMIENTO CORREGIDOS GoZ					
Ang. Esc	KN	KG	sen $\theta$	KG sen $\theta$	GZ
0	0,00	5,16	0	0	0
5	0,73	5,16	0,09	0,45	0,28
10	1,47	5,16	0,17	0,90	0,57
20	2,90	5,16	0,34	1,77	1,13
30	4,07	5,16	0,50	2,58	1,49
40	5,33	5,16	0,64	3,32	2,01
50	5,29	5,16	0,77	3,95	1,33
60	5,34	5,16	0,87	4,47	0,87
70	5,14	5,16	0,94	4,85	0,29
80	4,73	5,16	0,98	5,08	-0,35
90	4,16	5,16	1,00	5,16	-1,00



Tabla de brazos de adrizamientos corregidos y curva de estabilidad final, Buque petrolero DWT 6200 (Figura N°21)

## HALLAR ÁREAS DE ESTABILIDAD DINAMICA POR MEDIO DE FORMULAS MATEMATICAS PARA COMPARAR DATOS CON NORMAS OMI

### Formula de Simpson

Para el cálculo de estabilidad dinámica se utiliza la formula Simpson, la cual da un cálculo casi exacto del área de la curva de estabilidad corregida para los 30° o 40°.

La estabilidad dinámica analiza<sup>20</sup>:

La Estabilidad Estática analiza las fuerzas que participan en una nave escorada para las distintas posiciones que pueda tener.

La Estabilidad Dinámica analiza además las fuerzas inerciales y el Trabajo Mecánico que debe efectuarse para escorar un barco, como así mismo el Trabajo Mecánico que la nave es capaz de realizar para adrizarse.

Este trabajo es similar al que realiza un resorte que se ha comprimido.

Estas fórmulas son usadas para hallar el área que hay entre el punto cero de la curva final y el brazo de adrizamiento en el cual uno está interesado para posteriormente comparar con los datos de las normas OMI y constatar si la embarcación es estable o no.

*Área entre 0° - 30° (formula números impares)*

---

<sup>20</sup> Humboldt Marine Training, Capitulo Estabilidad dinámica, Ing. Naval Boris Guerrero, Chile/ Valparaíso, 2011,

$$3/8 * 10 * (GZ 0^{\circ} + 3 * GZ 10^{\circ} + 3 * GZ 20^{\circ} + GZ 30^{\circ}) / 180 / \pi$$

Aplicable para constatar la primera normativa OMI

*Área entre 0° - 40° (formula números pares)*

$$10/3 * (GZ 0^{\circ} + 4 * GZ 10^{\circ} + 2 * GZ 20^{\circ} + 4 * GZ 30^{\circ} + GZ 40^{\circ}) / 180 / \pi$$

Usada para verificar la segunda normativa OMI

## **NORMAS O.M.I. (Organización Marítima Internacional)**

### *Estabilidad de embarcaciones fluviales*

1.- El área bajo la Curva de Estabilidad Estática corregida (GoZ) entre  $0^\circ$  y  $30^\circ$  debe ser igual o superior a 0,055 [m rad].

2.- El área bajo la curva de Estabilidad Estática corregida (GoZ) entre  $0^\circ$  y  $40^\circ$  (o  $0^\circ$  y el ángulo de inundación  $\theta_f$ , si  $\theta_f < 40^\circ$ ) debe ser igual o superior a 0,090 [m rad].

3.- El área bajo la curva de Estabilidad Estática corregida (GoZ) entre  $30^\circ$  y  $40^\circ$  (o  $30^\circ$  y el ángulo de inundación  $\theta_f$ , si  $\theta_f < 40^\circ$ ) debe ser igual o superior a 0,030 [m rad].

4.- El Brazo de Adrizamiento GoZ debe ser a lo menos 0,20 m a un ángulo de escora igual o mayor de  $30^\circ$ .

5.- El máximo Brazo de Adrizamiento debe ocurrir a un ángulo de escora que exceda  $30^\circ$ , pero nunca menor de  $25^\circ$ .

6.- La Distancia Metacéntrica GoM no debe ser menor de 0,15 m.

### **Existe una Norma O.M.I. especial para graneleros:**

1.- El área bajo la curva entre  $0^\circ$  y  $40^\circ$  (o  $\theta_f$  si es  $<$  de  $40^\circ$ ) debe ser al menos 0,075 [m rad].

2.- GoM debe ser igual o mayor que 0,30 m.