

EL CALCULO DE LAS CURVAS HIDROSTATICAS PARA LOS NAVIOS NACIONALES

Ing. Luis M. Murillo B. Ph.D *

Resumen

Se discuten los cálculos de las Curvas Hidrostáticas para barcos de pesca pequeños (< 60 metros) usando Hojas de Cálculo de común aplicación en computadoras personales. El método usa seccionamientos verticales lo mismo que integraciones verticales en vez de las integraciones horizontales comúnmente usadas en Ingeniería Naval. Esto permite aumentar el número de Líneas de Flotación y fácilmente incrementar la precisión de los cálculos para barcos pequeños. Se concluye que la localización de Líneas de Flotación espaciadas cada 25 cm a partir de la Quilla son suficientes para el cálculo inicial de la curva TPC típica para un navío nacional. Se presentan los procedimientos de cálculo usando Hojas de Cálculo con capacidad de interconexión virtual y se discute un ejemplo de un navío de 14.4 m de eslora de flotación.

Summary

A method for the computation of Hydrostatic Curves for small (< 60 meters) fishing vessels is presented. Spread-Sheets and Computer Aided Design procedures for small personal computers are used. The method is based on vertical subdivisions and integrations instead of standard horizontal segments. This allows a rapid increase in the number of Waterlines and precision of the Tones per Centimeter of Immersion (TPC) computations for small ships. 25 centimeter spacings are found appropriate. A 14.4m fishing vessel example is discussed.

INTRODUCCION

Las Curvas Hidrostáticas muestran de manera gráfica el comportamiento de un barco sujeto a fuerzas de desestabilización estáticas. Su cálculo a partir de las Curvas de Bonjeanas o de Forma y las Tablas de Coordenadas constituyen un primer paso en el diseño de un navío y es uno de los procedimientos iniciales indispensables de la Ingeniería Naval (SNAME, 1988).

Este cálculo generalmente se hace asumiendo que el barco está en condición de flotación horizontal con quilla plana y que los efectos de un corte longitudinal son pequeños. El rango de las líneas de flotación deberá cubrir y exceder el Calado Operacional localizado entre la Quilla y el Tope de la Cubierta.

Típicamente los cálculos se ejecutan utilizando métodos de integración numéricos. Comúnmente los cálculos se hacen para unas pocas Lí-

neas de Flotación espaciadas uno o dos pies. Para cada plano horizontal se usan las fórmulas de integración de Simpson para obtener las áreas horizontales a partir de las Semimangas y luego aquellas se extrapolan para obtener los Desplazamientos para cada plano de flotación.

La utilidad inmediata de las curvas hidrostáticas consiste en la facilidad con que un capitán de navío, entrenado en su uso, puede usarlas para calcular los parámetros operacionales de su barco como carga máxima, estabilidad, despazamiento, caballaje requerido para alcanzar una velocidad dada y el exceso de buoyancia para una condición de carga dada.

En nuestro país (Salgado, 1990) debido a la carencia de personal especializado y al poco entrenamiento de los constructores de barcos, no se ejecutan ni los más elementales cálculos convencionales del Diseño Naval. Es la esperanza de este autor que este artículo ayude a difundir estos conocimientos, indispensables para la seguridad de la navegación comercial en nuestras costas, entre los ingenieros (en su mayoría civiles) y empíricos que laboran en el diseño, construcción y

* Ph.D. en Ingeniería Oceánica. Graduado de la Universidad de Rhode Island, E.U.; Colegio de Ingenierías, Departamento de Ingeniería Oceánica, Mayo 1990. Ingeniero Consultor para Astilleros Centroamericanos S.A., Colima de Tibás, San José, Costa Rica. Miembro de SNAME.

aprobación de planos para la construcción de los barcos nacionales.

DISCUSION DEL METODO

El método discutido en este artículo comienza con la introducción de las coordenadas a una Hoja de Cálculo como 123, Quatro o Excel. Luego de introducidos los valores de las coordenadas para cada curva del Diagrama de Formas, se pueden usar las funciones intrínsecas de la Hoja de Cálculo para ejecutar las extrapolaciones a las estaciones intermedias mediante la expresión

$$Y_{i+1/2} \cong Y_i + \frac{Y_{i+1} - Y_i}{X_{i+1} - X_i} X_{i+1/2} \quad (1)$$

con:

i = número de estación;

$y_{i+1/2}$ = valor extrapolado de la altura de la curva en estudio; coordenada longitudinal del plano de la quilla (e.d. el plano horizontal que toca la quilla en su punto más bajo y que sirve de referencia a las alturas);

y_{i+1} = altura sobre el plano de la quilla para la estación $i + 1$ de la forma extrapolada de la curva del codillo, cubierta, el tope etc.);

y_i = altura de la curva para la estación i ;

x_{i+1} = coordenadas horizontales (sobre el plano de la quilla) o, equivalentemente, cuando las estaciones son equidistantes, el número de estación.

El *Cuadro No.1* presenta los valores del diagrama de coordenadas extrapolados de un barco con LLP (Distancia entre Perpendiculares) de 14.3 m. Para llegar a esta tabla se tomaron los valores de las semimangas de las estaciones principales y se calcularon los valores de las semimangas correspondientes a las estaciones intermedias según la Ecuación (1).

El segundo paso del método consiste en el ajuste y mejoramiento de las líneas del barco (Fairing of the Lines). La *Figura No.1* presenta el Plano de Formas del barco que usamos de ejemplo en este artículo.

Los valores de Cuadro No. 1 son graficados y unidos con líneas curvas de segundo orden (e. d. polinomios de orden 2) tal y como lo permiten las funciones intrínsecas de las Hojas de Cálculo mo-

dernas. Los resultados se presentan en la *Figura No.1*. En esta figura se nota la posición de la Quilla, el Codillo, la Cubierta y el Tope de la Amurada. A partir de esta figura y usando el *Cuadro No.1* se puede lograr el ajuste numérico de las coordenadas.

Para este segundo paso es muy ventajoso contar con Hojas de Cálculo con capacidad de interconexión virtual de hoja a hoja y con ploteo directo y entrelazado. Esto permite que cambios en la tabla de valores se reflejen de inmediato en la gráfica de las Curvas de Forma del barco (e.d. del Codillo, Cubierta etc.). La *Figura No. 1* se hizo con la Hoja de Cálculo "Excel" (Version 2.1) y el paquete de despliegues gráficos "Windows" (Version 2.0) de la Corporación Microsoft (Microsoft, 1987). Tradicionalmente este paso se hace en la mesa de dibujo del Ingeniero o Arquitecto Naval. Sin embargo, con el advenimiento de las computadoras modernas y las Hojas de Cálculo el procedimiento se puede realizar de forma mucho más rápida y cómoda.

El tercer paso consiste en el cálculo de los Desplazamientos, las Areas Horizontales de las secciones horizontales del barco para cada una de las Líneas de Flotación del diseño que está siendo estudiado. El *Cuadro No. 2* presenta los resultados calculados para el barco de 14.3 m. que usamos de ejemplo en este artículo (cuyo diseño es propiedad de Astilleros Centroamericanos S.A.). Los resultados presentados aquí se calcularon a partir del *Cuadro No. 1* y de la *Figura No. 1* usando la capacidad de entrelazado de la Hoja de Cálculo "Excel" de Microsoft. A su vez, usando esta capacidad de entrelazado se puede graficar el seccionamiento vertical usado junto con las Líneas de Forma para su ajuste y mejoramiento.

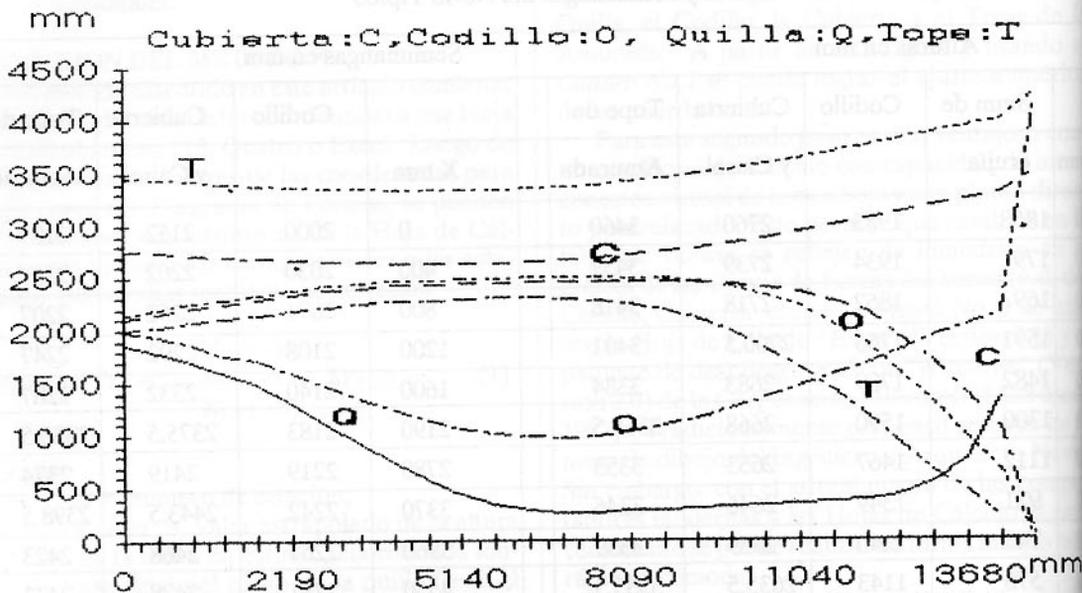
Para obtener los resultados del *Cuadro No. 1* primeramente se organizaron los datos del *Cuadro No. 1* verticalmente, para cada estación longitudinal a partir de la primera Estación (Estación cero, en el Eje del Timón del navío) pasando por todas las estaciones y subestaciones interpoladas intermedias, hasta llegar a la región del Pique de Proa. Los datos del *Cuadro No. 1* y la *Figura No. 1* se organizan verticalmente de forma que se presenten los valores de las semimangas a partir de Línea de Centros para cada estación longitudinal.

Cada estación luego se divide en secciones verticales cuyos límites horizontales son las estaciones intermedias interpoladas. Los límites ver-

Cuadro No. 1
Alturas y Semimangas del Navío Típico

Alturas en mm					Semimangas en mm			
	8mm de	Codillo	Cubierta	Tope de		Codillo	Cubierta	Tope de
X mm	crujía		y Cairel	Amurada	X mm		y Cairel	Amurada
0	1858	1983	2760	3460	0	2000	2152	2107
400	1791	1934	2739	3439	400	2030	2202	2157
800	1692	1862	2718	3418	800	2071	2252	2207
1200	1591	1765	2700.5	3401	1200	2108	2292	2247
1600	1482	1709	2683	3384	1600	2140	2332	2287
2190	1300	1590	2668	3368.5	2190	2183	2375.5	2330.5
2780	1112	1467	2653	3353	2780	2219	2419	2374
3370	921	1349	2646	3346	3370	2242	2443.5	2398.5
3960	740	1240	2639	3339	3960	2267	2468	2423
4550	576	1143	2635.5	3335.5	4550	2281	2478	2433
5140	440	1068	2632	3332	5140	2294	2488	2443
5730	347	1012	2640	3340	5730	2301	2493	2448
6320	282	980	2648	3348	6320	2303	2498	2453
6910	260	968	2662	3363	6910	2294	2496.5	2454
7500	265	986	2676	3378	7500	2272	2495	2455
8090	282	1031	2707	3408	8090	2240	2488	2452.5
8680	290	1086	2738	3438	8680	2186	2481	2450
9270	311	1160	2779	3479	9270	2102	2448.5	2440
9860	325	1246	2820	3520	9860	1982	2416	2430
10450	339	1346	2871	3571	10450	1826	2325.5	2392.5
11040	353	1449	2922	3622	11040	1635	2235	2355
11590	367	1560	2981	3681	11590	1420	2053	2259
12140	380	1675	3040	3740	12140	1181	1871	2163
12690	420	1790	3105	3805	12690	922	1585.5	1932.5
13240	543	1925	3170	3870	13240	651	1300	1702
13680	756	2032	3228	3928	13680	475	974	1382
14120	1345	2139	3286	3986	14120	192	648	1062
15000		4110	3490.8	4234.4	15000			

Figura No. 1
ALTURAS Y SEMIMANGAS



ticales de cada sección son Líneas de Flotación intermedias a las Líneas de Forma (e. d. la Quilla, el Codillo y el Borde de la Cubierta). En el momento de definir los espaciamentos verticales de las líneas de flotación estos deberán ser fracciones de las distancias existentes entre las Líneas de Forma, de manera que los límites de las secciones verticales siempre coincidan (con una tolerancia de pocos milímetros) con las Líneas de Cuerpo. Esto se puede verificar mediante la graficación entrelazada de los límites de las secciones verticales junto con las Líneas de Forma tal y como lo permiten las Hojas de Cálculo modernas como Excel. Los límites laterales de estas secciones verticales siempre deberán coincidir con el casco moldeado y son líneas rectas de inclinación constante para cada región intermedia entre las Líneas de Forma.

La columna 1 de Cuadro No. 2 representa el tipo de sección vertical que puede ser de forma triangular ("V", cuando su base tiene un grosor igual a cero) o de forma prismática ("P", cuando tanto la base como el tope de la sección tienen grosores diferentes de cero). La columna 2 da la estación (o semiestación) longitudinal. Las columnas 4 y 6 representan las alturas límite en la base Z_{j-1} y en el tope Z_j del seccionamiento vertical de cada estación. La columna 5 contiene el calado considerado para la Línea de Flotación

correspondiente. Las columnas 8 y 9 contienen las anchuras de las Semimangas (interpoladas es necesario mediante polinomios de segundo grado en sentido longitudinal) de los límites de la sección transversal en su base o punto inferior b_j y en su tope o punto superior b_j . La columna 10 contiene el Diferencial de Altura Dd desde la base inmediata inferior de la sección transversal hasta el calado de la Línea de Flotación inmediata superior. La columna 11 contiene el número "0" cuando la sección vertical no es final (e. d. no incluye y topa con la próxima Línea de Forma inmediata superior) y "1" cuando la sección vertical es final. La columna 12 contiene el ángulo ϕ en radianes de la planchada moldeada de la sección. Este ángulo se asume constante para cada división vertical de estación y se calcula según

$$\phi = \tan^{-1} \left| \begin{array}{cc} b_j & -b_{j-1} \\ Z_j & -Z_{j-1} \end{array} \right|$$

en donde j es el número de la sección vertical. La columna 13 contiene el ángulo en grados decimales. La columna 14 contiene el diferencial de área de la subsección transversal (e. d. desde el calado inmediato inferior al calado inmediato superior) calculado como

Tabla No. 2
Calculo de Desplazamientos

"ACESA, por Ing. Murillo, Ph.D."										"Distancias en metros," Pesos en toneladas métricas						
CL	ES	Z ₀	Z _(j-1)	Cala	Z _(j)	Dd	b _(j-1)	b _(j)	Bin	Zeta R	Zeta A	Producto	Da	x _A	D	
v	0	1.5	1.5	2	1.6	0	0	2	1	1.52	87.1	0	0			
p	0	1.5	1.6	2	2.4	0.2	2	2.06	0	0.07	4.21	0	0.6	0	0	
p	0	1.5	1.6	2	2.4	0.4	2	2.06	0	0.07	4.21	0	1.61	0	0	
p	0	1.5	1.6	2	2.4	0.7	2	2.06	1	0.07	4.21	2.6	2.63	2.6	3.42	
p	0	1.5	2.4	3	2.9	0.1	2.06	2.12	0	0.12	6.71	0	0.41	2.6	3.42	
p	0	1.5	2.4	3	2.9	0.4	2.06	2.12	1	0.12	6.71	1.5	1.46	4.1	5.31	
v	1	1.4	1.4	2	1.6	0.2	0	1.86	1	1.44	82.3	0.2	0.17	0.2	0.22	
p	1	1.4	1.6	2	2.35	0.2	1.86	2.06	0	0.26	14.9	0	0.56	0.2	0.22	
p	1	1.4	1.6	2	2.35	0.4	1.86	2.06	0	0.26	14.9	0	1.53	0.2	0.22	
p	1	1.4	1.6	2	2.35	0.7	1.86	2.06	1	0.26	14.9	2.5	2.53	2.7	3.51	
p	1	1.4	2.4	3	2.9	0.2	2.06	2.18	0	0.21	12.1	0	0.62	2.7	3.51	
p	1	1.4	2.4	3	2.9	0.4	2.06	2.18	1	0.21	12.1	1.7	1.68	4.4	5.69	
v	2	1	1	1	1.6	0	0	1.88	0	1.26	72.3	0	0	0	0	
v	2	1	1	1	1.6	0.3	0	1.88	0	1.26	72.3	0	0.2	0	0	
v	2	1	1	2	1.6	0.5	0	1.88	1	1.26	72.3	0.8	0.78	0.8	1.02	
p	2	1	1.6	2	1.95	0.2	1.88	2.24	1	0.79	45.2	0.6	0.59	1.4	1.78	
p	2	1	2	2	2.9	0.1	2.24	2.35	0	0.12	7.06	0	0.22	1.4	1.78	

Distancia en metros,
Pesos en toneladas métricas

CL	ES	Z ₀	Z _(j-1)	Cala	Z _(j)	Dd	b _(j-1)	b _(j)	Bin	Zeta R	Zeta A	Producto	Da	x _A	D
p	2	1	2	2	2.9	0.3	2.24	2.35	0	0.12	7.06	0	1.35	1.4	1.78
p	2	1	2	3	2.9	0.6	2.24	2.35	0	0.12	7.06	0	2.5	1.4	1.78
p	2	1	2	3	2.9	0.8	2.24	2.35	1	0.12	7.06	3.7	3.66	5	6.54
v	3	0.6	0.6	1	1.6	0.2	0	2.24	0	1.15	65.9	0	0.05	0	0
v	3	0.6	0.6	1	1.6	0.4	0	2.24	0	1.15	65.9	0	0.36	0	0
v	3	0.6	0.6	1	1.6	0.7	0	2.24	0	1.15	65.9	0	0.94	0	0
v	3	0.6	0.6	2	1.6	0.9	0	2.24	1	1.15	65.9	1.8	1.81	1.8	2.35
p	3	0.6	1.6	2	2.24	0.2	2.24	2.29	0	0.09	5.25	0	0.67	1.8	2.35
p	3	0.6	1.6	2	2.24	0.4	2.24	2.29	1	0.09	5.25	1.8	1.8	3.6	4.7
p	3	0.6	2.2	2	2.7	0	2.29	2.41	0	0.25	14.3	0	0.05	3.6	4.7
p	3	0.6	2.2	3	2.7	0.3	2.29	2.41	1	0.25	14.3	1.2	1.21	4.8	6.27
v	4	0.3	0.3	0	1.6	0	0	2.35	0	1.05	60.2	0	0	0	0
v	4	0.3	0.3	1	1.6	0.3	0	2.35	0	1.05	60.2	0	0.11	0	0
v	4	0.3	0.3	1	1.6	0.5	0	2.35	0	1.05	60.2	0	0.44	0	0
v	4	0.3	0.3	1	1.6	0.8	0	2.35	0	1.05	60.2	0	0.98	0	0
v	4	0.3	0.3	1	1.6	1	0	2.35	0	1.05	60.2	0	1.74	0	0
v	4	0.3	0.3	2	1.6	1.3	0	2.35	1	1.05	60.2	2.7	2.72	2.7	3.5
P	4	0.3	1.6	2	0.2	0.2	2.35	2.47	1	0.29	16.4	0.7	0.71	3.4	4.4

Distancia en metros
Pesos en toneladas métricas

CL	ES	Z ₀	Z _(j-1)	Cala	Z _(j)	Dd	b _(j-1)	b _(j)	Bin	Zeta R	Zeta A	Producto	Da	x _A	D
p	4	0.3	2	2	2.6	0	2.47	2.53	0	0.1	5.6	0	0	3.4	4.47
p	4	0.3	2	2	2.6	0.3	2.47	2.53	0	0.1	5.6	0	1.24	3.4	4.47
p	4	0.3	2	3	2.6	0.5	2.47	2.53	1	0.1	5.6	2.5	2.5	5.9	7.71
v	5	0.1	0.1	0	0.7	0.2	0	2.35	0	1.3	74.6	0	0.14	0	0
v	5	0.1	0.1	1	0.7	0.5	0	2.35	0	1.3	74.6	0	0.73	0	0
v	5	0.1	0.1	1	0.7	0.7	0	2.35	1	1.3	74.6	1.8	1.77	1.8	2.31
p	5	0.1	0.7	1	1.6	0.3	2.35	2.47	0	0.13	7.45	0	1.42	1.8	2.31
p	5	0.1	0.7	1	1.6	0.6	2.35	2.47	0	0.13	7.45	0	2.63	1.8	2.31
p	5	0.1	0.7	2	1.6	0.8	2.35	2.47	1	0.13	7.45	3.8	3.85	5.6	7.31
p	5	0.1	1.6	2	2.25	0.2	2.47	2.53	0	0.09	5.17	0	0.74	5.6	7.31
p	5	0.1	1.6	2	2.25	0.4	2.47	2.53	1	0.09	5.17	2	1.99	7.6	9.9
p	5	0.1	2.3	2	2.9	0	2.53	2.59	0	0.09	5.17	0	0	7.6	9.9
p	5	0.1	2.3	3	2.9	0.3	2.53	2.59	0	0.09	5.17	0	1.27	7.6	9.9
p	5	0.1	2.3	3	2.9	0.5	2.53	2.59	1	0.09	5.17	2.6	2.55	10	13.2
v	6	0.1	0.1	0	0.7	0.2	0	2.29	0	1.29	74.2	0	0.14	0	0
v	6	0.1	0.1	1	0.7	0.5	0	2.29	1	1.29	74.2	0.7	0.71	0.7	0.93
p	6	0.1	0.7	1	1.55	0.1	2.29	2.5	0	0.2	11.7	0	0.23	0.7	0.93
p	6	0.1	0.7	1	1.55	0.3	2.29	2.47	0	0.2	11.7	0	1.4	0.7	0.93

Distancias en metros
Pesos en toneladas métricas

CL	ES	Z ₀	Z _(j-1)	Cala	Z _(j)	Dd	b _(j-1)	b _(j)	Bin	Zeta R	Zeta A	Producto	Da	x _A	D
p	6	0.1	0.7	1	1.55	0.6	2.29	2.47	0	0.2	11.7	0	2.59	0.7	0.9
p	6	0.1	0.7	2	1.55	0.8	2.29	2.47	1	0.2	11.7	3.8	3.8	4.5	5.8
p	6	0.1	1.6	2	2.25	0.2	2.47	2.53	0	0.08	4.8	0	0.99	4.5	5.8
p	6	0.1	1.6	2	2.25	0.5	2.47	2.53	1	0.08	4.8	2.2	2.24	6.8	8.7
p	6	0.1	2.3	2	2.9	0	2.53	2.59	0	0.09	5.17	0	0	6.8	8.7
p	6	0.1	2.3	3	2.9	0.3	2.53	2.59	0	0.09	5.17	0	1.27	6.8	8.7
p	6	0.1	2.3	3	2.9	0.5	2.53	2.59	1	0.09	5.17	2.6	2.55	9.3	12.1
v	7	0.1	0.1	0	0.7	0.2	0	1.94	0	1.27	72.8	0	0.07	0	
v	7	0.1	0.1	1	0.7	0.4	0	1.94	0	1.27	72.8	0	0.52	0	
v	7	0.1	0.1	1	0.7	0.7	0	1.94	1	1.27	72.8	1.4	1.37	1.4	1.7
p	7	0.1	0.7	1	1.6	0.3	1.94	2.29	0	0.37	21.4	0	1.2	1.4	1.7
p	7	0.1	0.7	1	1.6	0.6	1.94	2.29	0	0.37	21.4	0	2.25	1.4	1.7
p	7	0.1	0.7	2	1.6	0.8	1.94	2.29	1	0.37	21.4	3.4	3.36	4.7	6.1
p	7	0.1	1.6	2	2.25	0.2	2.29	2.47	0	0.27	15.2	0	0.69	4.7	6.1
p	7	0.1	1.6	2	2.25	0.4	2.29	2.47	1	0.27	15.2	1.9	1.88	6.6	8.5
p	7	0.1	2.3	2	2.9	0	2.47	2.59	0	0.18	10.3	0	0	6.6	8.5
p	7	0.1	2.3	3	2.9	0.3	2.47	2.59	0	0.18	10.3	0	1.25	6.6	8.5
p	7	0.1	2.3	3	2.9	0.5	2.47	2.59	1	0.18	10.3	2.5	2.52	9.1	11.1

Distancias en metros Pesos en toneladas métricas															
CL	ES	Z ₀	Z _(j-1)	Cala	Z _(j)	Dd	b _(j-1)	b _(j)	Bin	Zeta R	Zeta A	Producto	Da	x _A	D
v	8	0.2	0.2	1	0.88	0.4	0	1.47	0	1.11	63.6	0	0.25	0	0
v	8	0.2	0.2	1	0.88	0.6	0	1.47	1	1.11	63.6	0.7	0.73	0.7	0.94
p	8	0.2	0.9	1	1.6	0.1	1.47	2.06	0	0.69	39.3	0	0.36	0.7	0.94
p	8	0.2	0.9	1	1.6	0.4	1.47	2.06	0	0.69	39.3	0	1.2	0.7	0.94
p	8	0.2	0.9	2	1.6	0.6	1.47	2.06	1	0.69	39.3	2.1	2.14	2.9	3.72
p	8	0.2	1.6	2	2.2	0.2	2.06	2.24	0	0.29	16.4	0	0.62	2.9	3.72
p	8	0.2	1.6	2	2.2	0.4	2.06	2.24	0	0.29	16.4	0	1.69	2.9	3.72
p	8	0.2	2.2	2	2.9	0.1	2.24	2.41	0	0.25	14.2	0	0.22	2.9	3.72
p	8	0.2	2.2	3	2.9	0.3	2.24	2.41	0	0.25	14.2	0	1.36	2.9	3.72
p	8	0.2	2.2	3	2.9	0.6	2.24	2.41	1	0.25	14.2	2.5	2.54	5.4	7.02
v	9	0.3	0.3	1	1.6	0.2	0	0.88	0	0.6	34.2	0	0.03	0	0
v	9	0.3	0.3	1	1.6	0.5	0	0.88	0	0.6	34.2	0	0.14	0	0
v	9	0.3	0.3	1	1.6	0.7	0	0.88	0	0.6	34.2	0	0.33	0	0
v	9	0.3	0.3	1	1.6	1	0	0.88	0	0.6	34.2	0	0.61	0	0
v	9	0.3	0.3	2	1.6	1.2	0	0.88	1	0.6	34.2	1	0.98	1	1.27
p	9	0.3	1.6	2	2.4	0.2	0.88	1.65	0	0.76	43.7	0	0.29	1	1.27
p	9	0.3	1.6	2	2.4	0.4	0.88	1.65	0	0.76	43.7	0	0.86	1	1.27
p	9	0.3	1.6	2	2.4	0.7	0.88	1.65	1	0.76	43.7	1.6	1.55	2.5	3.29
p	9	0.3	2.4	3	3.25	0.1	1.65	2.12	0	0.51	29	0	0.33	2.5	3.29
p	9	0.3	2.4	3	3.25	0.4	1.65	2.12	1	0.51	29	1.2	1.22	3.7	4.87
v	10	0.9	0.9	2	1.6	1.1	0	0.29	1	0.4	22.8	0.5	0.51	0.5	0.66
p	10	0.9	1.6	2	2.5	0.7	0.29	1	1	0.67	38.1	0.7	0.71	1.2	1.59
p	10	0.9	2.5	3	3.4	0	1	1.53	0	0.53	30.5	0	0	1.2	1.59
p	10	0.9	2.5	3	3.4	0.3	1	1.53	1	0.53	30.5	0.5	0.54	1.8	2.29

Simbología:

CL=	Clase
ES=	Estación
Z=	Altura
CALA=	Calado
b=	Manga
Zeta R=	Angulo en radianes
Zeta A=	Angulo Decimal
Prod=	Producto
x _A =	Areas Transversal
D=	Desplazamiento

"Fuente: Oficina de Diseño, Astilleros Centroamericanos, S.A." "v.1.0,H.Paul 55ft"

$$D_a = [2b_{j-1} + D_{atan}(\phi)] D_a \quad (3)$$

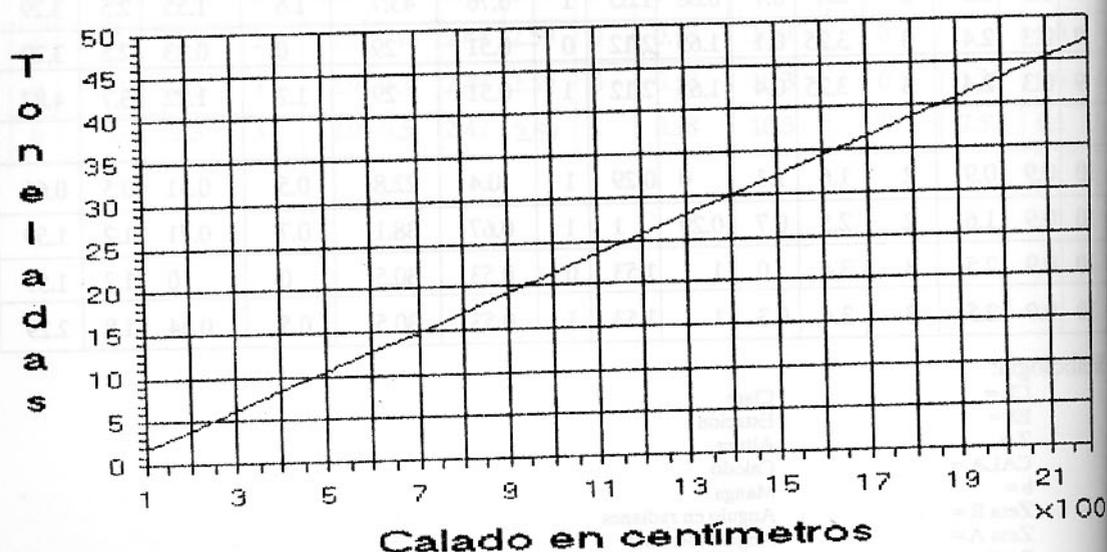
La columna 15 contiene el área de la sección transversal que va desde la Quilla hasta la Línea de Flotación considerada. La columna 16 contiene el desplazamiento hasta la Línea de Flotación considerada indicada en la columna E para la estación dada por la columna 2. El desplazamiento se calcula como el producto del área transversal, cuyo límite vertical superior es la línea de flotación considerada, y el espaciamento horizontal de las estaciones. En caso de estaciones no homogéneamente espaciadas es necesario realizar interpolaciones.

El cuarto paso consiste en el cálculo de la Curva de Toneladas por Centímetro de Inmersión (TPC) a partir de la columna 16 del Cuadro No. 2. Primero se escogen al menos dos calados cuyas Líneas de Flotación cubran la longitud completa del navío a partir del eje de la pala del timón (por ejemplo los calados de 1.5 m y 2 m del barco cuyo diseño usamos de ejemplo en este artículo); luego

se suman todos los desplazamientos que correspondan a calados que sean menores o iguales que los calados escogidos para todas las estaciones. Finalmente se grafica el desplazamiento contra el calado para los calados escogidos y se traza una línea de mejor ajuste utilizando las funciones intrínsecas de la Hoja de Cálculo referentes a métodos de Mínimos Cuadrados. Los resultados de estos cálculos se muestran en la Figura No.2.

Con la Curva TPC se puede estudiar el comportamiento del navío para cargas intermedias. Dada una carga en kilogramos se puede calcular el desplazamiento en toneladas métricas dividiendo por $10^3 = 1000$. Con el desplazamiento y la curva de TPC podemos deducir el calado resultante para esa carga y a su vez verificar que no supere los límites de seguridad y que sea compatible con los cálculos de estabilidad resultantes. Este otro tema se expondrá en otra futura publicación técnica en esta misma revista.

Figura No. 2
TONELADAS POR CENTIMETRO DE
INMERSION TPC



CONCLUSIONES

Se presenta un método sencillo de cálculo para la Curva Hidrostática de Toneladas por Centímetro de Inmersión (TPC). Los resultados se obtienen usando Hojas de Cálculo para computadores personales que son de aplicación fácil y directa. Del Cuadro No. 2 podemos ver como un espaciamiento de 2.5 cm para las Líneas de Flotación es suficiente para fijar una curva TPC satisfactoria. El método se puede extender fácilmente a los cálculos de los momentos laterales y al cálculo de las condiciones de estabilidad. El método usa interpolaciones lineales

e interpolaciones basadas en polinomios de segundo orden.

BIBLIOGRAFIA

1. SNAME, 1988: "Principles of Naval Architecture", Vol. I, E.V. Lewis, Editor, Publicado por la Sociedad Norteamericana de Arquitectos e Ingenieros Navales SNAME.
2. Microsoft, 1987: "Excel Reference". Version 2.0.
3. Salgado P, O. , 1990: Comunicación personal. Ministerio de Transportes, Dirección de Transportes Marítimos, Gobierno de Costa Rica.