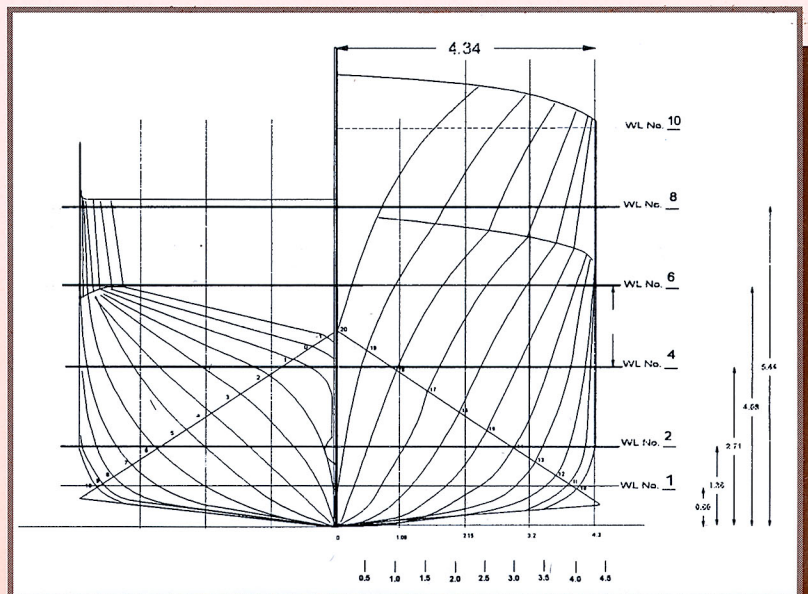
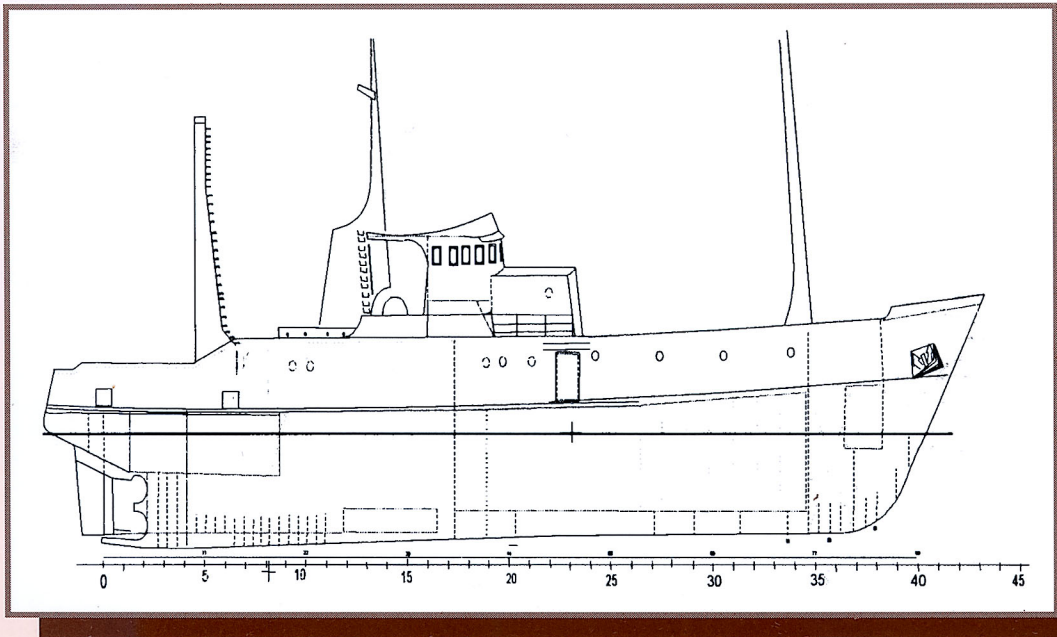


Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica
Julio/Diciembre 1995 VOLUMEN 5 Nº 2



CURVAS HIDROSTÁTICAS DEL F/V JUAN SANTAMARÍA: UN BUQUE PELANGRERO DE PROFUNDIDAD

*Luis M. Murillo B.**

RESUMEN

Se introducen procedimientos numéricos para el cálculo de los centros de boyancia longitudinal y transversal, alturas metacéntricas, curva de las toneladas por centímetro de inmersión y tonelaje. Los cálculos se hacen en función del calado usando hojas de cálculo modernas con ligámenes virtuales de una hoja a otra. Las áreas requeridas se computan mediante métodos de dibujo por computadora a partir del diagrama de líneas del navío con espacios fijos y conocidos entre estaciones.

SUMMARY

Numerical procedures for the estimation of centers of buoyancy, metacentric height, tons per centimeter of immersion and tonnage are introduced. Computations are done using spreadsheets with virtual links. Required areas are estimated using CAD procedures.

1. INTRODUCCION

El diseño de un navío se traza actualmente en una mesa de dibujo por computadora realizando cálculos y diseñando de modo semiautomático. En Centroamérica no existen procedimientos de cálculo estandarizados de las curvas hidrostáticas, como es común en otras regiones más industrializadas del planeta, que poseen mayor desarrollo de la ingeniería oceánica o naval. En este artículo se propone solventar parcialmente tal problema mediante la introducción de una metodología numérica para el cálculo rápido y automático de las características hidrostáticas más importantes de la ingeniería naval como son: metacentro transversal, metacentro longitudinal, centro de boyancia,

centro de boyancia longitudinal, tonelaje y toneladas por centímetro de inmersión.

La metodología hace uso de las computadoras personales y se aplica directamente al barco insignia de la flota costarricense: el F/V Juan Santamaría. Los métodos se llevan a cabo en hojas de cálculo comunes y usan los procedimientos aceptados por la Sociedad Norteamericana de Ingenieros y Arquitectos Navales de los Estados Unidos (SNAME). Es de esperar que estos métodos faciliten la introducción al país, y a la región centroamericana, de procedimientos de diseño, seguridad, control y registro para barcos de trabajo que sean confiables, precisos y de rápida ejecución profesional.

Los valores de las áreas, semimangas y alturas se introducen en las hojas de cálculo en donde se realizan los cómputos. El procedimiento parte de un diagrama de líneas hecho a escala fiel del

ING. PH.D.

SNAME 4235580

Programa de Ingeniería Costera, Naval PIICAN,
Universidad de Costa Rica

prototipo, que se procesa en una tableta de dibujo digital. Se usan integradores y procedimientos de trazado digital de paquetes de dibujo por computadora para el diseño y las evaluaciones iniciales. Luego, los valores se transfieren manualmente, a una hoja de cálculo en donde se realizan los cálculos pertinentes de forma automática y muy rápida, reduciendo el tiempo que se requiere para un diseño, al tiempo que tarda el ingeniero naval en dibujarlo. La computadora realiza luego los cálculos tediosos e incómodos rápidamente.

1. Características Generales del Buque

El barco objeto de este estudio es el F/V Juan Santamaría CR. 2637, carguero y procesador dedicado a la pesca de profundidad en las aguas del Pacífico Tropical Este. Este barco tiene una longitud total de 46 m, una manga de 8.5 m y un calado máximo de diseño de 4 m. Su vista lateral se presenta en la figura No. 1. El diagrama de líneas del buque se presenta en la figura No. 2. Nótese como este barco posee gran capacidad de carga y estabilidad, pues tiene un fondo ancho que se extiende 2/3 de su casco medio.

Sin embargo, debido a la remodelación del navío, se le quitó material de pisos en cemento y otros materiales y su calado medio ha bajado aproximadamente un metro. Es pues, importante conocer su condición de estabilidad estática actual para una operación segura. El diseño de este barco indica una necesidad de potencia de 1200 HP a 380 rpm, directo sin reductor, con tubo de Kort (Kort Nozzle) y hélice de 4 aspas en bronce con diámetro de 1.68 m que, en condiciones óptimas, le daría una velocidad correspondiente de acuerdo a la ecuación

$$V = \sqrt{L_{pp}} \quad [1]$$

de unos 11 nudos (n) con una longitud entre perpendiculares de 40 m (131 pies). En esta ecuación, como es tradicional en la ingeniería naval, V representa la velocidad en nudos (n) y L_{pp} la longi-

tud de la línea de flotación entre perpendiculares del navío escrita en pies.

2. Las Curvas Hidrostáticas de un Navío

Son varias las curvas que se pueden calcular haciendo uso de los conocimientos de la estática de fluidos de la ingeniería oceánica. En este artículo, introduciremos procedimientos para calcular algunas de importancia en el diseño de los barcos. Existen muchos procedimientos alternativos de cálculo. Los expuestos aquí, son los tradicionales de la ingeniería naval en los Estados Unidos (Comstock, 1967) modificados un poco para adaptarlos a las necesidades de las hojas de cálculo modernas. Una introducción al tema se presenta en artículos anteriores del autor (Murillo 1991, 1993) dados en la bibliografía.

Un diagrama de uso común en el diseño naval es el de toneladas desplazadas por unidad de calado. Otro es el de la posición del centro de boyancia longitudinal CB_1 contra tonelaje W o calado medio. La curva de toneladas por centímetro de inmersión o curva T_{PCM} es otro diagrama que tiene muchos usos en la ingeniería naval. Uno de los principales usos de la curva T_{PCM} es el cálculo de las variaciones de desplazamiento W mediante lectura directa de la distancia vertical desde el fondo del navío hasta la línea de flotación vigente en condiciones de carga dadas, o sea, la localización de la línea de flotación respecto de la quilla del barco.

Como su nombre lo indica, la curva T_{PCM} es un gráfico de las toneladas de desplazamiento del barco por cada centímetro de inmersión del casco. Como las formas de los navíos no son formas geométricas sencillas, las integraciones que se indican en las fórmulas matemáticas se realizan siempre numéricamente y, en nuestro caso, usando la computadora para los cálculos tediosos.

La altura metacéntrica es una medida directa de la estabilidad del navío, de suma importancia para determinar la seguridad de la nave ante el

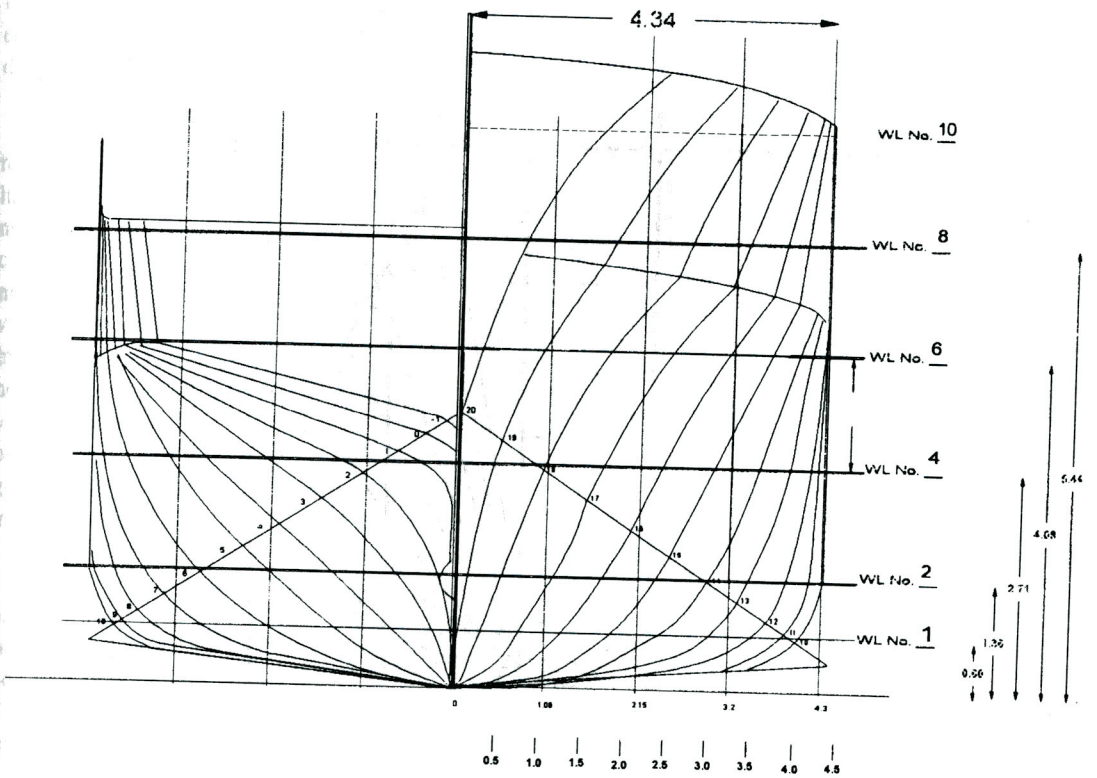
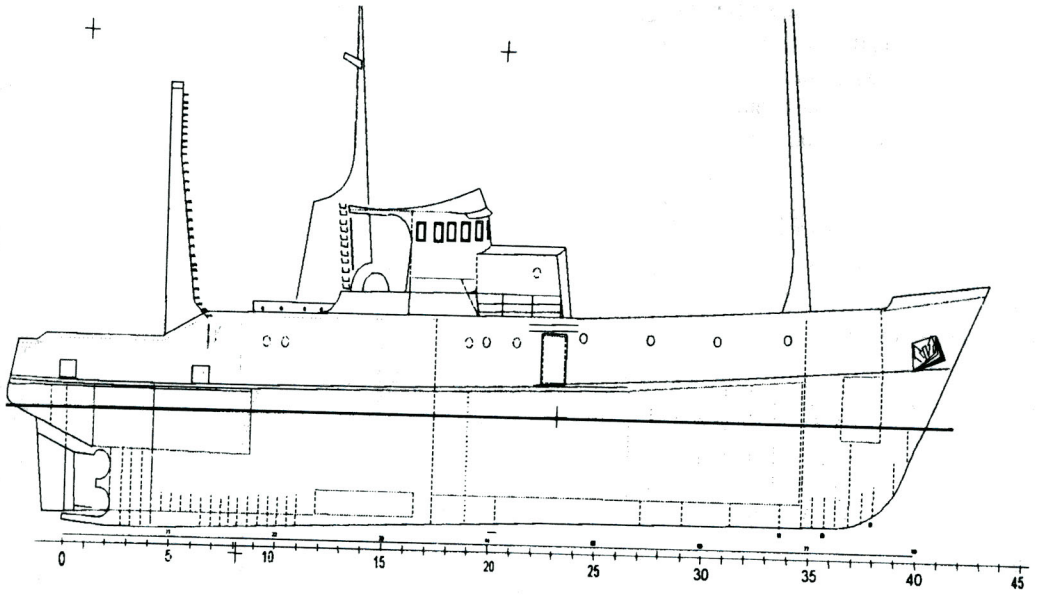
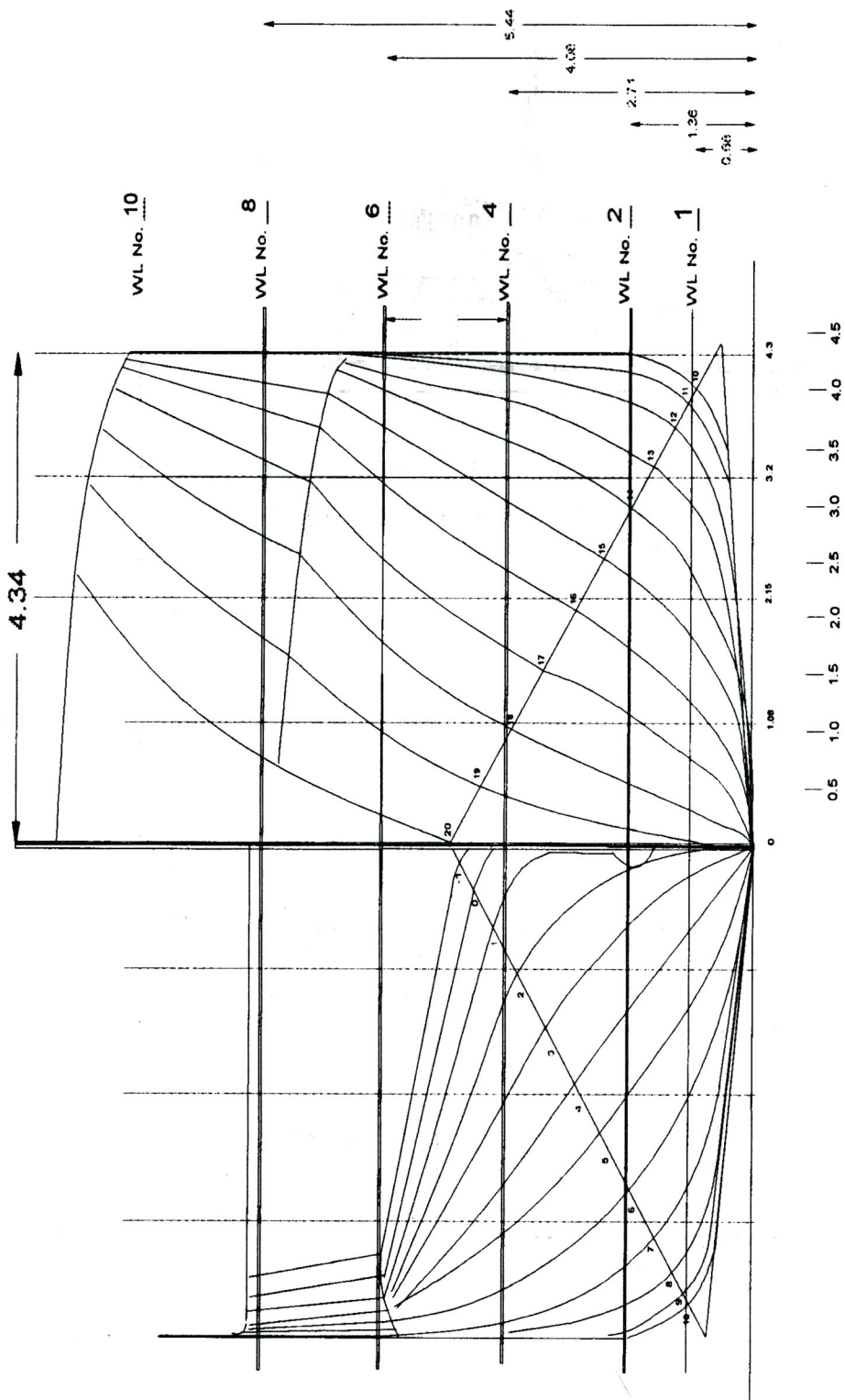


Figura No. 2
Diagrama de líneas del F/V Juan Sanramaría



riesgo del volteo catastrófico y se computa restándole a la altura metacéntrica, desde la quilla KM, la altura del centro de gravedad desde la quilla o sea:

$$GM = KM - KG$$

Como hay dos modos de oscilación dominantes, o sea, el balanceo y el cabeceo, hay dos alturas metacéntricas importantes: la altura metacéntrica transversal GM para el balanceo y la altura metacéntrica longitudinal GM_l para el cabeceo. Aquí calculamos el KM para ambos modos de oscilación del navío, luego, y dependiendo de la carga del barco, se calcula el KG para, finalmente, restarle al KM y obtener los GM operativos para los dos tipos de movimiento oscilatorio.

El procedimiento para calcular los diagramas mencionados en los párrafos anteriores comienza con pasar un plano de formas transversales a escala, mediante una tableta de dibujo, a un programa de dibujo por computadora o CAD. La figura No. 2 muestra el plano de formas transversales de la nave insignia que usaremos de ejemplo en este artículo y que fue transferido a la computadora mediante una tableta digital por el autor.

Las líneas curvas corresponden a las diferentes cuadernas o secciones, o mejor dicho a sus límites moldeados o externos. Estas líneas están numeradas de -1 a 20. Aparece solo la mitad de cada sección, pues los barcos son generalmente simétricos de babor a estribor. Los números negativos indican cuadernas que se encuentran por detrás del codaste, siempre sobre el agua. Las líneas horizontales equidistantes se dibujan con el CAD y representan líneas de flotación tentativas que se pueden usar en los cálculos. En este caso se escogieron 10 líneas de flotación espaciadas verticalmente ≈ 1 m la una de la otra.

Para las líneas de flotación que se escojan, se miden luego las semimangas o semianchos, de las secciones transversales desde la línea de centros del navío, con un integrador digital propio del CAD. Esto requiere de una tableta de dibujo y un pincel electrónico de dibujo. Desde luego, un pri-

mer paso en todo esto es fijar la escala exacta del dibujo en el CAD. La distancia requiere su delineamiento en la tableta con el pincel electrónico y el CAD realiza luego la evaluación cuantitativa de la longitud en forma automática.

El cuadro No.1 muestra los resultados de la evaluación realizada al F/V Juan Santamaría. Al inicio se indican las características del navío la fecha y la hora del estudio. Luego se indican los datos para las semimangas y mangas para cada línea de flotación. También se suele indicar el ingeniero a cargo o responsable. Las longitudes se calculan para cada línea de flotación (WL#.), cada una de las cuales deberá cubrir el rango estimado de operación del navío, es decir desde la quilla hasta la borda libre o cerca de ella.

Del cuadro No. 1 se pasa luego a los cálculos del cuadro No. 2 con las áreas del plano de flotación A(WP), centro de gravedad del plano, la altura metacéntrica longitudinal desde el centro de boyancia BM_l y la altura metacéntrica transversal desde el plano horizontal del centro de boyancia BM, volúmenes de desplazamiento, desplazamientos, momentos de volumen y posiciones longitudinales del centro de boyancia. La altura del centro de boyancia desde la quilla se computa también en la parte inferior del cuadro, lo mismo que un estimado de los coeficientes de línea de flotación, bloque, área central, sección media y coeficiente prismático. Todas las fórmulas se indican en el cuadro y no serán repetidas aquí. Como los cálculos son los mismos para cada línea de flotación, se discutirán sólo los de la línea de flotación No. 4. Todos los cálculos se realizan, automáticamente, usando las funciones de una hoja de cálculo.

El cuadro No. 2 muestra los cálculos para la línea de flotación # 4 (WL#4). Al principio este cuadro muestra el espaciamiento entre estaciones, entre planos de flotación y los multiplicadores de Simpson. También se indican al inicio la longitud, ancho y calado de la línea de flotación sobre la línea base del diseño. Este cuadro tiene diez columnas. La primera (Col. No 0) indica la sección, la

CUADRO No. 1
D-CAD Diagrama de Datos Hidrostáticos del Diagrama de Líneas.

Angulo de →		" 0"		Datos en		metros										
Navío: JUAN SANTAMARÍA		File:		8/		19/		1996		17:01						
Ing. L. M. Murillo B.																
Semimangas y Mangas																
Sta	W.L.# 1 @ .0.7	W.L.# 2 @ .1.4	W.L.# 3 @ .2.0	W.L.# 4 @ .2.7	W.L.# 5 @ .3.4	W.L.# 6 @ .4.1	W.L.# 7 @ .4.8	W.L.# 8 @ .5.4	S Manga	Manga	S Manga	Manga	S Manga	Manga	S Manga	Manga
S-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S0	0	0	0	0	1.65	3.3	3.84	3.95	3.76	7.52	7.68	3.84	3.95	7.68	3.84	7.9
S1	0.05	0.10	0.1	0.45	2.41	4.82	4	4	4	8.00	8.00	4	4	8.00	4	8.00
S2	0.10	0.20	0.2	1.41	2.82	5.60	4.12	4.18	4.07	8.14	8.24	4.12	4.18	8.24	4.18	8.36
S4	0.75	1.50	2.22	3	6.00	7.20	4.16	4.22	4.07	8.14	8.32	4.16	4.22	8.32	4.22	8.44
S6	2.22	4.44	3.54	3.9	7.80	8.50	4.19	4.25	4.25	8.50	8.38	4.19	4.25	8.38	4.25	8.50
S8	3.60	7.20	4.21	4.25	8.50	8.50	4.2	4.25	4.25	8.50	8.40	4.2	4.25	8.40	4.25	8.50
S10	4.00	8.00	4.3	4.25	8.50	8.50	4.25	4.25	4.25	8.50	8.50	4.25	4.25	8.50	4.25	8.50
S12	3.54	7.08	3.73	4.14	8.28	8.30	4.25	4.25	4.25	8.50	8.50	4.25	4.25	8.50	4.25	8.50
S14	2.41	4.82	3.3	3.56	7.12	7.06	3.97	4.21	3.97	7.94	8.42	4.21	4.21	8.42	4.21	8.42
S16	1.28	2.56	2.12	2.42	4.84	4.82	3.18	3.64	3.18	6.36	7.28	3.64	3.64	7.28	3.83	7.66
S18	0.32	0.64	0.8	0.9	1.80	2.00	1.7	2.32	1.7	3.40	4.64	2.32	2.32	4.64	2.71	5.42
S19	0.05	0.10	0.25	0.42	0.84	0.88	1	1.41	1	2.00	2.82	1.41	1.41	2.82	1.84	3.68
S20	0.00	0.00	0	0	0.00	0.00	0.25	0.50	0.25	0.50	0.96	0.48	0.48	0.96	0.77	1.54

segunda (1) la estación con la nomenclatura estándar de la SNAME, la tercera (2) el multiplicador de Simpson que se usará para las integraciones numéricas, la cuarta (3) indica la manga. Este valor está ligado al valor correspondiente del cuadro No.1, mediante "liga virtual" o *linking* que es una facilidad ofrecida por hojas de cálculo como *Excel* o *QPRO*, actualmente, en el mercado internacional. Cualquier valor introducido en la hoja del cuadro No. 1 se transfiere a la hoja del cuadro No. 2 automáticamente.

La columna # 5 (4) contiene la función de áreas $f(A)$, que es el producto del multiplicador de Simpson para la estación i (s_{mi}) por el ancho de la estación i o sea B_i . La columna # 6 (5) contiene el brazo de palanca o sea la distancia desde la perpendicular de referencia del espaciamiento entre estaciones s .

La columna # 7 (6) contiene el primer momento del área respecto a popa y la columna # 8 contiene la función de los momentos para cada estación $f(m)$ es decir, el producto del multiplicador de Simpson por el momento del área.

El volumen sumergido τ bajo la primera línea de flotación del navío se calcula mediante la ecuación:

$$\tau = \int A ds = \sum (s m_i A_i) s \quad [3]$$

en donde ds (o " s ") representa una distancia infinitesimal a lo largo de la línea de centros del barco. El desplazamiento se obtiene multiplicando por el peso específico del agua. El primer momento de áreas se calcula mediante la expresión:

$$\mu = \int s d\tau = \sum (s m_i s_i B_i) \quad [4]$$

El momento de las áreas es el producto del área por el brazo de palanca en múltiplos de s . La función de momentos para cada estación es el producto del momento por el multiplicador de Simpson para cada estación.

Luego, la posición del centro de boyancia longitudinal respecto de la estación central se calcula según la ecuación:

$$CB(s) = \frac{(\mu_d - \mu_i)}{A} \quad [5]$$

en donde los subíndices d y i del momento indican la derecha e izquierda de la estación central del navío.

Algunos valores del cuadro No. 2 requieren, a su vez, de integraciones tal como el valor del desplazamiento. Estos cálculos se realizan en cuadros aparte, para cada línea de flotación, y se ligan al cuadro mediante ligas "virtuales". El cuadro No.4, discutido más adelante, muestra los cálculos del desplazamiento y volumen adicionales requeridos para el cuadro No. 2.

La figura No. 3 muestra los resultados de los cómputos numéricos de la BM o altura metacéntrica lateral, BM_l o altura metacéntrica longitudinal y la altura de el centro de boyancia B desde la quilla o sea BK . También se muestran en la misma figura los resultados para el cómputo de las toneladas por centímetro de inmersión o T_{PCM} .

Un análisis de la figura No. 3 muestra varias características importantes del navío. Sus alturas metacéntricas, y en consecuencia, sus períodos de oscilación en cabeceo y balanceo, son muy parecidos en el rango de operación con calados entre los 2 y los 4 m. Para calados extremos bajos estos períodos difieren un poco. La curva $TPCM$ tiene un valor medio de 2 toneladas por cada centímetro adicional de calado, o sea que sus $\approx 200 \text{ m}^3$ de bodega llenos de pescado con un factor de estiva de 0.8 no cambiarán su línea de flotación a una distancia mayor del metro. Esto le da buen manejo al capitán si puede distribuir la carga y mantener el barco balanceado. En esto debemos recordar que el motor se encuentra en el primer tercio del barco desde popa bajo cubierta, entre secciones 4 y 8. La bodega está al frente con el refrigerador entre secciones $8 \frac{1}{2}$ y $10 \frac{1}{2}$ y el resto de la bodega entre las

secciones $10^{\frac{1}{2}}$ y la $17^{\frac{1}{2}}$ bajo cubierta. La curva T_{PCM} muestra una variación de ± 0.1 m hacia uno y otro lado del valor medio de 2 cm/ ton, con un mínimo en 2.7 m y un máximo en 3.3 m de calado. Debido al diferencial de las alturas metacéntricas y al rápido crecimiento de la curva T_{PCM} no se recomienda operar el barco en el rango de calado inferior a los 2 m. El coeficiente de la sección central (0.91@WL#4) así como el coeficiente prismático (0.6 @ WL#4) indican un barco carguero de desplazamiento pleno con gran eficiencia de transporte a baja velocidad.

El período de oscilación por balanceo (*Per*) puede estimarse con la ecuación

$$Per = \frac{0.44 * Manga}{\sqrt{GM}} \quad [6]$$

Para esto hay que conocer la condición de carga del navío y la posición exacta de su centro de gravedad G.

Luego, se pasa a analizar la curva de toneladas y posición del centro de boyancia para cada calado posible en condición de carga horizontal. Para esto se construye el cuadro No. 3, el cual muestra las semiáreas, áreas transversales del buque y el espaciamiento *s* entre las estaciones, que es generalmente una constante. Las áreas se calculan para las líneas de flotación escogidas (WL#). Dichas líneas de flotación deberán cubrir el rango estimado de operación del navío, es decir, desde la quilla hasta la borda libre o cerca de ella. Un detalle importante es que en realidad, se calculan solo las medias áreas puesto que el barco es simétrico con respecto a su eje longitudinal. Las áreas simplemente se calculan multiplicando luego por 2.

Para las líneas de flotación que se escojan, se miden las áreas de las secciones transversales desde la quilla o fondo del navío, con un integrador digital propio del CAD. Esto requiere de una tableta de dibujo y un pincel electrónico de dibujo. Desde luego que un primer paso en todo esto es fi-

jar la escala exacta del dibujo en el CAD. La medición de áreas generalmente requiere su delineamiento en la tableta con el pato y el CAD realiza luego la evaluación cuantitativa del área de forma automática.

El cuadro no. 4 muestra los cálculos de la curva de toneladas para la WL #4. En él se calculan el centro de boyancia longitudinal CBI, volumen y momento de volumen. Las nueve columnas muestran la estación, el multiplicador de Simpson, el área transversal, la función de áreas para las áreas transversales, el brazo desde una referencia adecuada, el momento, la función de momento y el espaciamiento entre secciones. Al final del cuadro se indica el volumen neto computado para la línea de flotación en cálculo, el desplazamiento en toneladas métricas, el momento de volumen y la posición del CBI desde proa y centro.

Usando la figura No.4, que se obtiene a partir de los datos de cada cuadro para cada línea de flotación usada, es posible medir directamente el desplazamiento del barco bajo condiciones de carga dadas. Solo se mide el calado, luego se lee de la figura No.4 el tonelaje correspondiente. La posición vertical del centro de boyancia se puede calcular también de forma aproximada usando la ecuación de Morrish o sea :

$$CB = \frac{l}{3} \left(\frac{C}{2} + \frac{\tau}{A_h} \right) \quad [7]$$

en donde *C* representa el calado, τ el volumen total sumergido y A_h el área del plano horizontal de flotación del barco. Estos cálculos se hacen rápidamente con las funciones de la hoja de cálculo.

La figura No. 4 muestra las toneladas, la posición del centro de boyancia, centro de boyancia longitudinal y la posición del CB respecto de la línea de flotación #8 para referencia. Esto permite estimar el comportamiento del casco en una determinada condición de carga y verificar su navegabilidad. Muchas veces se quiere inclinar el barco hacia adelante para mejorar su comportamiento

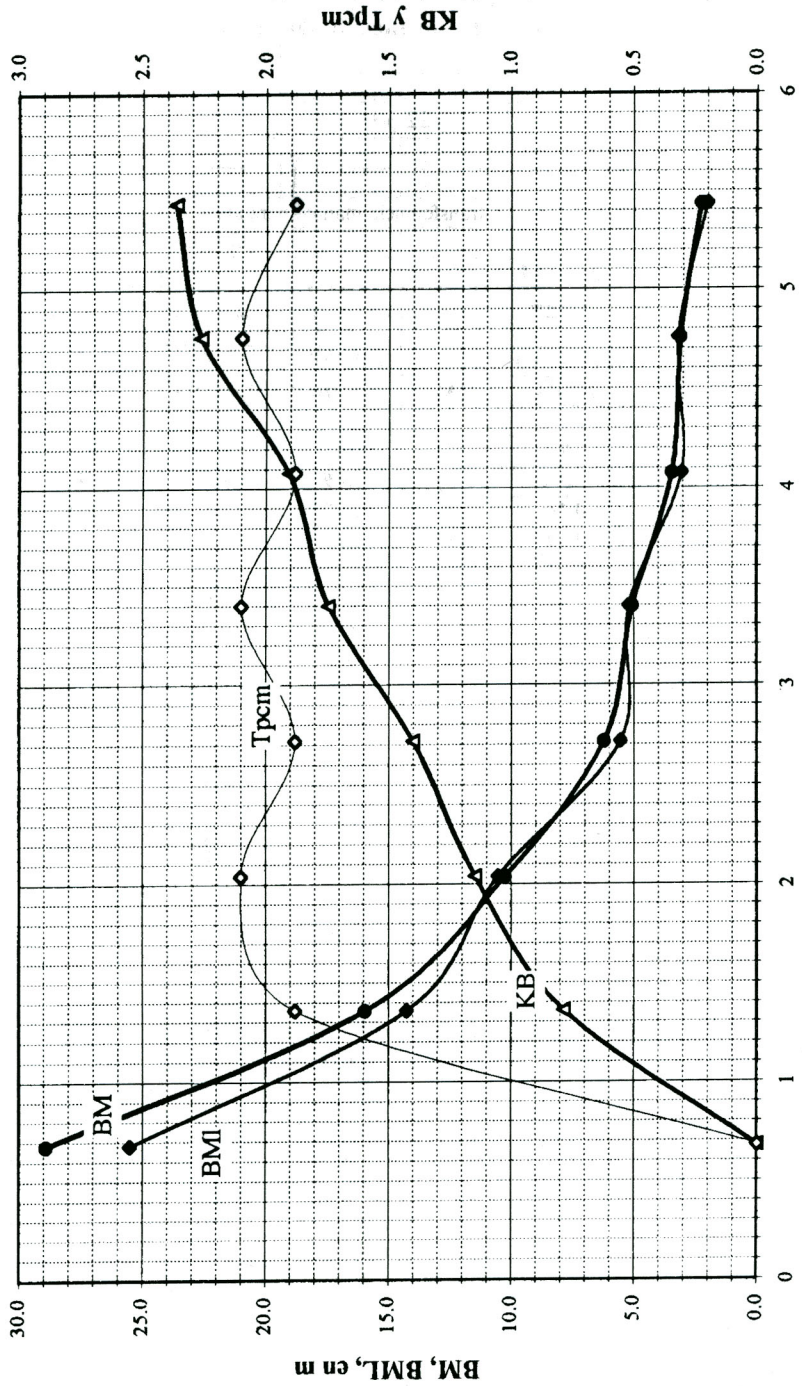
Cuadro No. 3

D-CAD Diagrama de Datos Hidrostáticos del Diagrama de Formas.

Angulo de : \rightarrow		θ°		Datos en metros		Man Max:		8.5		
				Len=Lpp= 40						
				Tiempo Juliano		Fecha		Hora		
				35478.722		2/ 17/ 1997		17:19		
Sta	W.L.# 1 @ :0.680 m	W.L.# 2 @ :1.360 m	W.L.# 4 @ :2.720 m	W.L.# 6 @ :4.080 m	W.L.# 8 @ :5.440 m					
	1/2 Área	Área	1/2 Área	Área	1/2 Área	Área	1/2 Área	Área		
S-1	0	0	0	0	0	1.67	3.34	6.41	12.82	
S0	0	0	0	0	0	2.35	4.7	7.54	15.08	
S1	0.00	0.00	0	0	0.18	0.36	3.5	7.00	8.8	17.60
S2	0.07	0.14	0.24	0.48	1.27	2.54	5.4	10.80	11.23	22.46
S3	0.17	0.34	0.57	1.14	2.79	5.58	7.48	14.96	13.03	26.06
S4	0.31	0.62	1.15	2.3	4.52	9.04	9.74	19.48	15.21	30.42
S5	0.73	1.46	2.04	4.08	6.22	12.44	11.38	22.76	17.37	34.74
S6	0.99	1.98	2.81	5.62	7.79	15.58	13.69	27.38	19.23	38.46
S7	1.31	2.62	3.46	6.92	8.97	17.94	14.83	29.66	20.79	41.58
S8	1.56	3.12	4.11	8.22	9.81	19.62	15.84	31.68	21.55	43.10
S9	1.73	3.46	4.29	8.58	10.45	20.90	16.17	32.34	22.03	44.06
S10	1.95	3.90	4.64	9.28	10.54	21.08	16.53	33.06	22.31	44.62
S11	1.87	3.74	4.65	9.3	10.31	20.62	16.24	32.48	22.12	44.24
S12	1.77	3.54	4.20	8.4	9.73	19.46	15.57	31.14	21.43	42.86
S13	1.42	2.84	3.64	7.28	8.61	17.22	14.19	28.38	19.91	39.82
S14	1.20	2.40	3.09	6.18	7.47	14.94	12.73	25.46	18.47	36.94
S15	0.90	1.80	2.39	4.78	5.94	11.88	10.57	21.14	15.81	31.62
S16	0.56	1.12	1.62	3.24	4.38	8.76	8.35	16.70	13.15	26.30
S17	0.34	0.68	0.96	1.92	2.88	5.76	5.74	11.48	9.98	19.96
S18	0.11	0.22	0.39	0.78	1.47	2.94	3.38	6.76	6.48	12.96
S19	0.02	0.04	0.11	0.22	0.42	0.84	1.35	2.70	3.23	6.46
S20	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.1	0.20	0.79	1.58

Figura No. 3

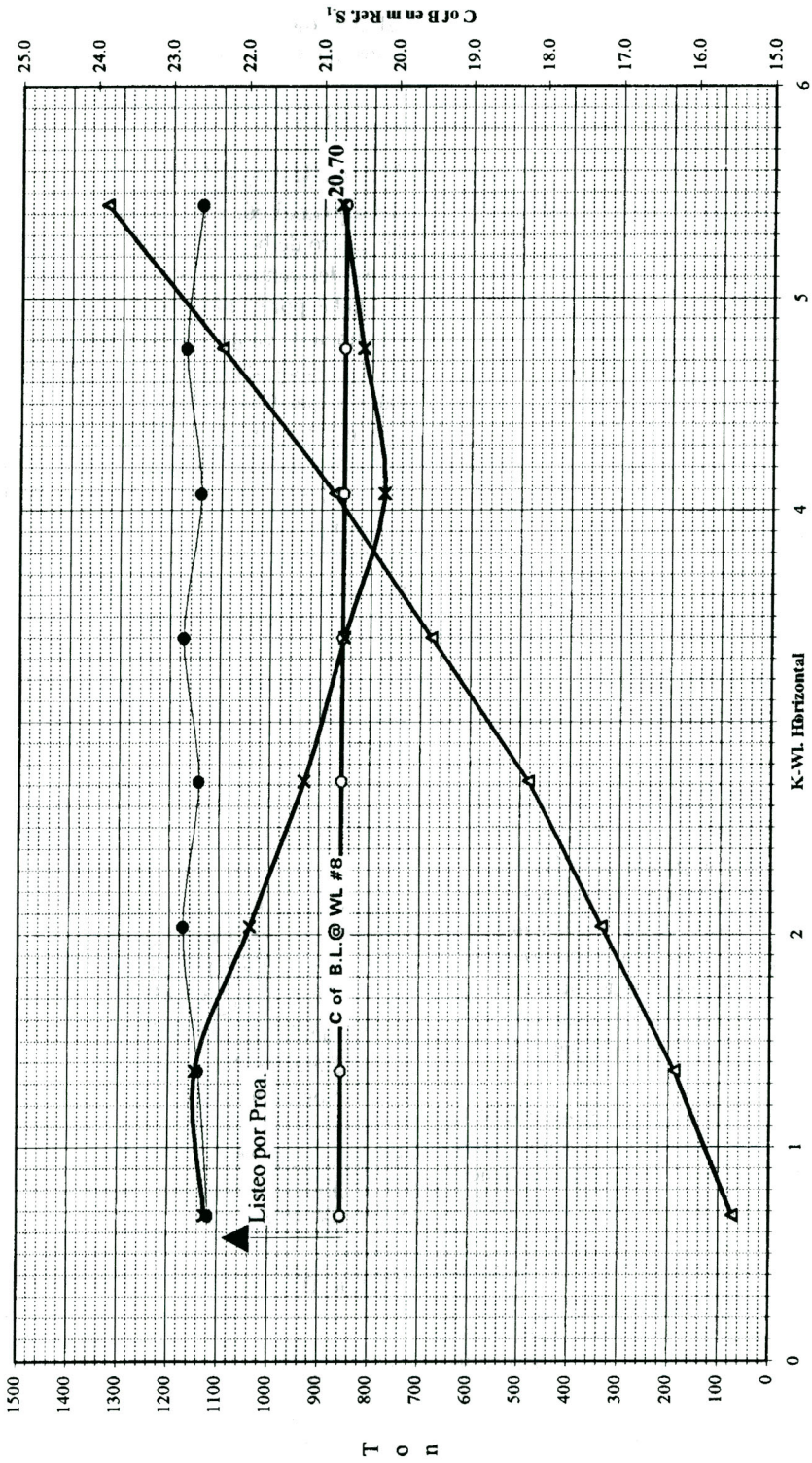
WL vs BML, BM, KB



Curvas de altura metacéntrica desde el centro de boyancia (BM), distancia de la quilla (K) al centro de boyancia (KB), altura metacéntrica longitudinal desde el centro de boyancia (BML) y altura de la línea de flotación (WL) desde la línea base

Figura No. 4

CBL y tonelaje vrs Calado (K-WL)



Centro de boyancia longitudinal (CBL) y tonelaje contra calado (K-WL)

hidrodinámico a altas velocidades, cercanas a la velocidad correspondiente unitaria, es decir cuando:

$$\frac{V}{\sqrt{gL}} = 1 \quad [8]$$

o sea, usando las unidades tradicionales, cuando

$$V = 9.61\sqrt{L} \quad [9]$$

en donde la velocidad se da en nudos (n) y la longitud en pies. Estas velocidades son, sin embargo, realmente inalcanzables para un navío con casco de desplazamiento pleno, y más común es referirse a la condición máxima potencia como cuando

$$V \approx 1.34\sqrt{L} \quad [10]$$

en donde la velocidad se da en nudos y la longitud en pies.

En estas condiciones el barco tiende a inclinarse hacia atrás, como si estuviera subiendo una cuesta (la cuesta de Froude). Esto hace que parte del empuje de la hélice se pierda. Colocar el centro de boyancia longitudinal hacia atrás del centro del barco, tiende a colocar el navío en una posición de navegación más horizontal y, como consecuencia, el empuje producido tiende menos a vencer la fuerza de la gravedad de su propio peso y más hacia el avance rápido sobre el agua.

Analizando la figura No.4 se nota que el barco tiene una propensión natural a inclinarse con proa arriba (listeo por proa) y en consecuencia este deberá cargarse para optimizar el intercambio de momento de su sistema de propulsión (Hélice de cuatro aspas con difusor tipo Kort. El diagrama también indica que para un calado de 3.4 m (e.d. un tonelaje de 860 ton) el barco tendrá su centro de boyancia a 20.7 m horizontales de la perpendicular de proa (S20). Así mismo el diagrama per-

mite localizar el CB₁ para cada condición de carga balanceada y permite computar la posición del centro de boyancia para su horizontalidad.

3. CONCLUSIONES

Se introducen procedimientos rápidos y seguros para el cómputo de la posición longitudinal del centro de boyancia transversal, longitudinal, la altura del centro de boyancia desde la quilla, las toneladas por centímetro de inmersión, el tonelaje y la línea de carga. Los cálculos se basan en hojas de cálculo que operan en computadoras personales y que poseen ligámenes virtuales. Los procedimientos numéricos para calcular algunas de las curvas hidrostáticas más importantes del diseño naval, son aplicables a barcos medianos similares al F/V Juan Santamaría. Generalmente se requieren unas pocas líneas de flotación, espaciadas un metro para un barco estándar de 50 metros. Una vez trazado el dibujo en la computadora con un paquete CAD, los cálculos son automáticos y rápidos. Los ajustes a las curvas se realizan automáticamente usando las funciones de la hoja de cálculo.

BIBLIOGRAFIA

- Comstock, J. P.: *Principles of Naval Architecture*. Escrito por un grupo de autoridades. Editado por John P. Comstock de Newport News Shipbuilding and Drydock Company. Publicación de la Sociedad de Ingenieros y Arquitectos Navales de los Estados Unidos de Norteamérica (SNAME). 1967.
- Murillo B, L.M.: *Curvas hidrostáticas para los navíos nacionales*. Ingeniería, Vol. 2, UCR, pp. 53-63, 1991
- Murillo B, L.M., 1993: *Navegabilidad y capacidad de carga de un navío pesquero: cálculos mediante PC's*. Ingeniería, UCR, Vol. 3(2), 1993.