ANALISIS DE LA ESTABILIDAD DE CATAMARANES

Por: José R. Marín L.[1],
[1]Ph.D. Ing. Naval, Profesor, Facultad de Ingeniería Marítima y CC. del Mar, ESPOL,
Campus Prosperina: Km. 30.5 Vía Perimetral, Guayaquil, jrmarin@espol.edu.ec

Resumen

Se describe la forma de aplicar uno de los programas comúnmente usados en el medio, para calcular las curvas Hidrostáticas, de Estabilidad Intacta y en Avería de embarcaciones tipo catamarán, describiendo el espacio entre semicascos como un apéndice negativo. Este apéndice debe definirse con una tabla de puntos independiente de la que describe las secciones del casco externo. Se describen luego las curvas típicas de este tipo de embarcaciones, tomando una embarcación imaginaria, de proporciones similares a las disponibles en el medio: L_{OA}=29, B_{SC}=3.30, D=3.6, T=1.40 metros). Se analizaron dos condiciones de carga, Completa y con consumibles al 10%, asumiéndose para esta segunda, un desplazamiento del 80% de la primera; el KG fue tomado como el 75 y 85% del Puntal, respectivamente. Debido a la acción de la Boyantez a una distancia apreciable desde crujía, se presenta una elevadísima altura metacéntrica, GM_T, que se manifiesta como una alta pendiente de la curva de brazos adrizantes, GZ. Así mismo, el valor máximo de GZ se presenta a un ángulo relativamente bajo, alrededor de 15^0, y luego la curva toma una pendiente suavemente negativa. La inundación de un compartimento de 7 m de longitud (24%L_{OA}) centrado en Sección Media, de un semicasco, produce una escora permanente de alrededor de 2.5 grados; sin embargo, debido a la fineza de los semicascos, la reducción en valores de GZ es pequeña. Finalmente, se resumen los requerimientos de Estabilidad recomendados por la Organización Marítima Internacional, OMI, para este tipo de embarcaciones, [8].

Palabras claves: Estabilidad, catamarán

1.- Introducción

En la tabla 1 se presenta una lista de las embarcaciones tipo catamarán actualmente en operación en las Islas Galápagos, [2], teniendo una fecha de entrada en operación particularmente reciente. Este interés de los armadores turísticos se debe a la elevada área de cubierta disponible para la misma eslora de la embarcación. Además, dado que se pueden emplear semicascos más finos, implica menor resistencia al avance, y, la separación entre cascos hace que la Inercia del Plano de Flotación sea elevada, proveyendo una muy alta Altura Metacéntrica Inicial, GM_0. Sin embargo, el hecho de tener cascos separados hace pensar que una avería podría tener también un efecto pronunciado de escoramiento.

El programa que más comúnmente se emplea en el medio para desarrollar Cálculos Hidrostáticos y de Estabilidad es SHCP. Sin embargo, hasta ahora se consideraba que no podía ser usado, en la versión disponible, para analizar catamaranes.

NOMBRE DE LA NAVE	ESLORA	MANGA	PUNTAL	TRB	MATERIAL DEL CASCO
AMAZONIA	22,00	10,40	2,98	96,68	ALUMINIO
ARCHIPELL	26,80	10,80	3,42	260.73	FIBRA DE VIDRIO
ARCHIPELL II	26,80	10,80	3,40	200.32	FIBRA DE VIDRIO
ATHALA	27,60	11,00	3,52	221.23	FIBRA DE VIDRIO
ATHALA II	29,97	11,20	3,45	318,78	FIBRA DE VIDRIO
CORMORANT II	27,44	11,00	3,50	221.27	FIBRA DE VIDRIO
ISLANDER	49,90	13,40	4,04	1021.66	ACERO NAVAL
MILLENIUM	25,00	10,00	4,30	316.53	ACERO NAVAL
NEMO MARTINICA	25,00	10,40	2,57	51.80	FIBRA DE VIDRIO

Tabla 1.- Listado de catamaranes en operación en las Islas Galápagos, [2]

Finalmente, dado que tanto la Estabilidad Intacta como en Avería de catamaranes produce resultados cualitativa y cuantitativamente diferentes que las embarcaciones monocascos, su análisis debe basarse en Criterios diferentes.

En resumen, en este trabajo se pretende mostrar la forma cómo se puede usar SHCP para desarrollar el cálculo de la Curva de Estabilidad de catamaranes. Luego comentar sobre las características típicas de las curvas de brazos adrizantes de este tipo de embarcaciones. Y finalmente se va a comentar sobre los requerimientos que deben cumplir estas embarcaciones con múltiples cascos, según las reglamentaciones de la OMI.

2.- Uso de SHCP para calcular la estabilidad de catamaranes

Los cálculos hidrostáticos de buques típicamente se desarrollan al integrar longitudinalmente (Proa-Popa) las propiedades seccionales. Así mismo, para integrar el área seccional, se la rota teniendo en las abcisas las alturas, z, y, en las ordenadas las semimangas, y.

Cuando se desea desarrollar la integración de un catamarán, esta operación debe hacerse en dos pasos: integrar en dirección positiva la curva 1, y restarle la integración de la curva 2. Esta definición doble puede ser incluida en la definición de las formas de un catamarán empleando SHCP, considerando que la curva 1 corresponde a la definición de las estaciones, y, la curva 2 corresponde a la definición de un apéndice de tipo negativo.

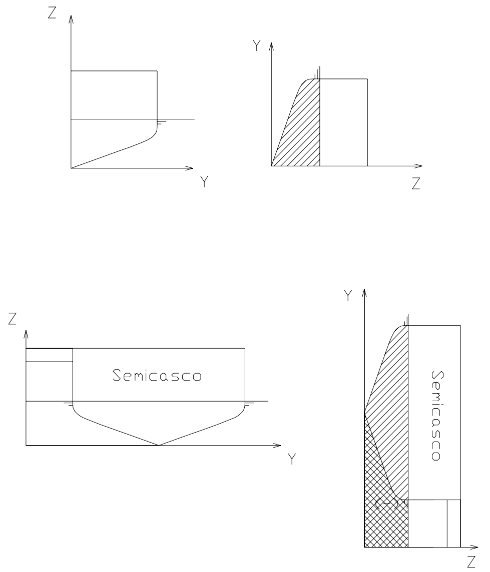


Figura 1.- Esquema de integración de las secciones de un buque monocasco y multicasco

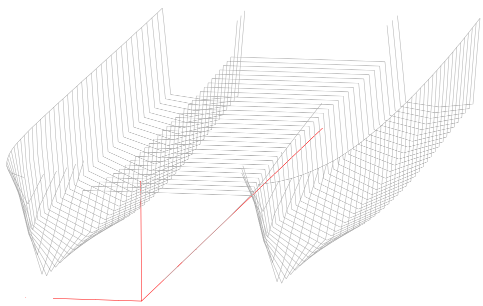
Para evitarse el ingreso molestoso de toda la información requerida para calcular la estabilidad de catamaranes, se puede desarrollar una pequeña rutina, cuyo esquema se describe en el apéndice de este trabajo, [1]. Se ingresa el cuadro de estaciones de un semicasco, y por pantalla se puede digitar la distancia que hay que desplazar lateralmente cada semicasco. Se requiere además, las posiciones x en las que empieza y termina la estructura de conexión entre cascos, y, la altura promedio de dicha conexión.

A continuación se va a analizar un catamarán imaginario, que tiene las siguientes dimensiones principales:

Eslora total (Cbta. Papal)	29.0	m
Manga Total	11.0	m
Manga Semicasco	3.30	m
Separación entre cascos	7.70	m
Puntal	3.50	m
Altura Cuerpo Conexión	2.60	m
Calado diseño	1.40	m
Ang. Astilla Muerta, S.Med.	24.0	º

Tabla 2.- Características de un catamarán "típico"

Las formas fueron generadas con el programa Gformas, [5], sin alisamiento posterior dado que se incluyó una china. Para darle mayor realismo a los cálculos desarrollados, se trató de que las dimensiones sean similares a los catamaranes construidos en el medio; compárelo con los datos de la Tabla 1. A continuación se presenta una vista 3D del catamarán, tal como es interpretado por el programa.



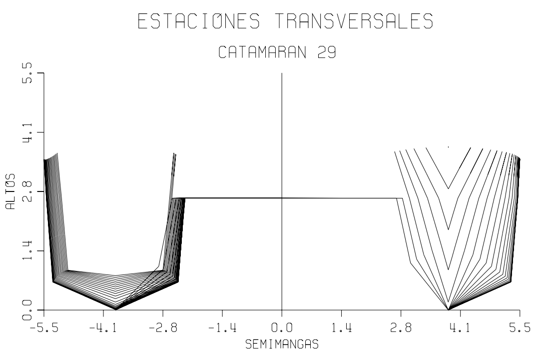


Figura 2.- Formas del Catamarán analizado

En el apéndice 3 de este trabajo se presentan las partes más importantes del archivo de datos para desarrollar los cálculos hidrostáticos, y cuyos resultados se presentan a continuación:

H	VOL	DESP	LCB	KB	BM_T	A_{PF}	A_{SM}
1	67.5	69.2	-0.48	0.69	30.27	132.52	9.557
1.1	80.8	82.8	-0.72	0.75	25.6	134.18	10.623
1.2	94.3	96.7	-0.89	0.8	22.18	135.6	11.691
1.4	121.7	124.7	-1.1	0.91	17.55	138.26	13.831
1.51	136.9	140.3	-1.17	0.97	15.77	139.67	15
1.7	163.8	167.9	-1.25	1.08	13.43	142.17	17.053
1.9	192.5	197.3	-1.31	1.19	11.65	144.81	19.208

Tabla 3.- Propiedades Hidrostáticas del catamarán

Los valores de la tabla pueden compararse con los resultados del apéndice 1, que presentan los cálculos Hidrostáticos para cada semicasco. Por ejemplo el desplazamiento es el doble, mientras que la posición del Centro de Boyantez (x=LCB, z=KB), coinciden directamente. Las áreas de los Planos de Flotación y las seccionales se presentan en forma total, es decir, sin restar todavía la región central, modelada como un apéndice que se inunda.

A continuación se grafica la variación del volumen del casco en función del calado. Se nota claramente una disminución de la pendiente de dicha curva para un valor de 2.60 metros, que corresponde a la altura del cuerpo de conexión entre semicascos del catamarán.

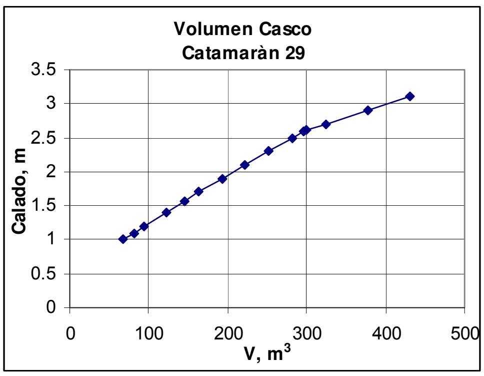


Figura 3.- Volumen del casco del catamarán

3.- Curvas de Estabilidad Típicas de Catamaranes

Se van a analizar dos condiciones de carga, completamente cargado y con

10% de consumibles. El desplazamiento del primero se tomó al calado de diseño, y para la segunda, se tomó como el 80% de la primera condición. Los valores del KG se asumieron como el 75 y 85% del Puntal, para las dos condiciones de carga, respectivamente. El resumen de las características se presenta a continuación:

	Carg.	10%
Desplazamiento	124.7	96.7
Calado	1.40	1.20
Asiento	0.00	0.00
KG_0 (0.75/0.85D)	2.625	2.975

Tabla 4.- Características de las condiciones de carga analizadas

A continuación se presentan las curvas de Brazos Adrizantes para las dos condiciones de carga analizadas. Puede notarse el elevadísimo valor del brazo adrizante máximo. También es notorio que dicho valor extremo se produce a un ángulo relativamente pequeño; luego de ello, la curva tiene una pendiente negativa relativamente baja, es decir, el ángulo al cual la embarcación pierde la estabilidad positiva parece ser elevado.

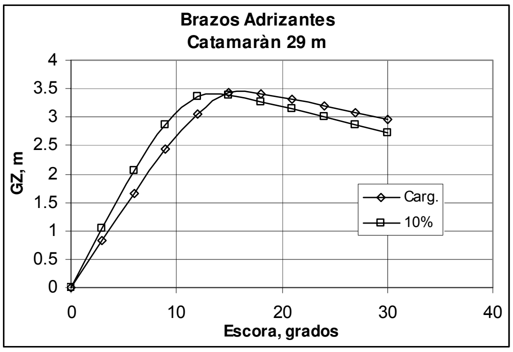


Figura 4.- Curvas de Brazos Adrizantes, condición Intacta

Comprobación

Para el calado de diseño, se han calculado las propiedades de un semicasco, y se presentan en el apéndice de este trabajo. De esta tabla se ha tomado la Inercia y el Area del Plano de Flotación, y se los ha combinado, aplicando el teorema de Ejes Paralelos, para establecer la Inercia Efectiva del Plano de Flotación del Catamarán:

$$I_{PF}^{C} = 2\left[I_{PF}^{SC} + A^{SC}s^{2}\right], \qquad (1)$$

donde s es la semiseparación entre cascos.

Aplicando ahora la clásica expresión, se puede obtener la posición del Metacentro:

$$KM_T = \frac{I_{PF}^{C}}{Vol} + KB \qquad (2)$$

Finalmente considerando la posición del Centro de Gravedad, podemos calcular la Altura Metacéntrica:

$$GM_T = KM_T - KG \qquad (3)$$

A continuación se resume el cálculo descrito, para el que se han tomado los valores de los parámetros de cada semicasco, presentados en la tabla del apéndice 1. Los términos SC y Cat indican propiedades de cada semicasco y del catamarán completo, respectivamente:

	Carg.	10%	
Desplazamiento (Cat)	124.7	96.7	ton
Area PF (SC)	69.16	67.82	m^2
KB (SC)	0.92	0.8	m
BM_T (SC)	0.71	0.87	m
I_{PF} (SC)	43.18878	41.03854	m^4
I_{PF} (Cat)	2136.626	2092.601	m^4
KM_T (Cat)	18.48248	22.98114	m
GM_T (Cat)	15.85748	20.00614	m

Tabla 5.- Estimación del Radio Metacéntrico

Los valores de la altura metacéntrica, GM_T, obtenidos aplicando el programa, en las condiciones fueron 15.81 y 20.31 m, respectivamente, muy cercanos a los aquí estimados.

Comparación con los resultados de un Monocasco

Para enfatizar en las diferencias con las curvas de Estabilidad de embarcaciones tipo monocasco, a continuación se grafica simultáneamente esta curva para el catamarán analizado y para una de tipo monocasco, [4], véase el Apéndice 4. Se utilizó para efectos de comparación, las curvas en las condiciones descritas anteriormente.

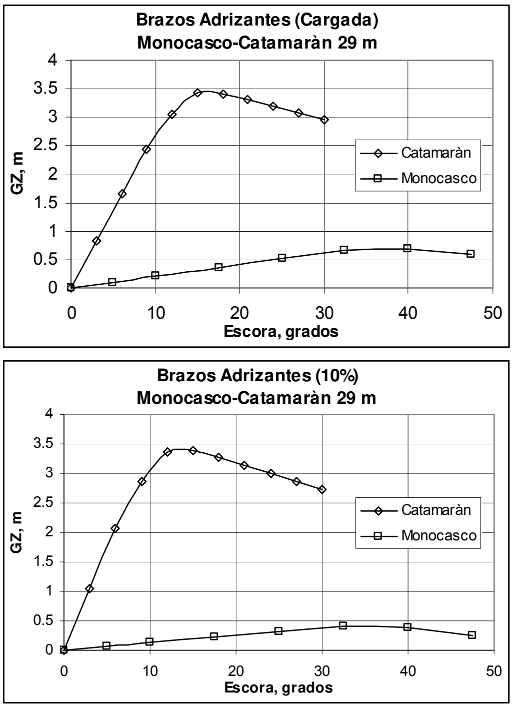


Figura 5.- Comparación de curvas de Estabilidad Intacta entre el Catamarán y un monocasco.

Se nota una elevada diferencia en pendiente en el origen de ambas curvas, resultado de la diferencia enorme en la altura metacéntrica, GM_T, entre ambas embarcaciones: 1.19/0.72 para el monocasco, y, 15.8/20.31 metros para el catamarán, en las condiciones analizadas. Se nota también que luego de alcanzar un muy alto valor de brazo adrizante máximo, la curva del catamarán desciende más rápidamente que la del monocasco. Nótese que dicho valor máximo corresponde a un ángulo de 16.3/14.2 grados, aproximadamente, lo cual no satisfacería el criterio de estabilidad intacta de la OMI (dicho ángulo debe ser mayor que 30, no menor que 25º, [7]).

De lo descrito en el párrafo anterior, se puede establecer que los requerimientos de Estabilidad Intacta de catamaranes deben ser diferentes que los de una embarcación monocasco. En el último punto de este trabajo se revisarán los criterios establecidos por la OMI para juzgar la estabilidad de catamaranes.

Estabilidad en Avería

Finalmente también se va a desarrollar el cálculo de las curvas de estabilidad, luego de que se produce una avería en un compartimento que representaría por ejemplo la Cocina típicamente ubicada en esta zona de estos buques. La inundación se consideró con una Permeabilidad del 90%, y abarcó la zona entre 12.5 y 19.0 metros medidos desde el extremo de Proa. En el apéndice 3 se presentan los datos de entrada para este cálculo. El compartimento denominado 101 corresponde a la inundación de un costado, desde crujía del catamarán, al que hay que sumarle la inundación “negativa” del espacio entre cascos, denotado como 800.

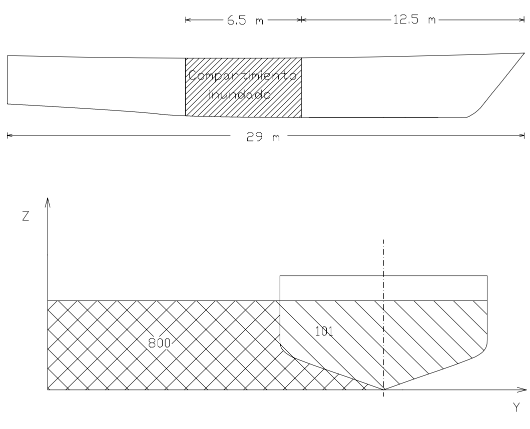


Figura 6.- Ubicación y definición del Compartimento inundado

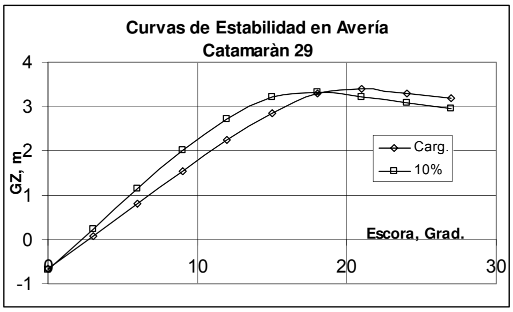


Figura 7.- Curvas de Estabilidad por inundación de compartimento central de 6.5 m de longitud

Como se nota en la figura, para una escora nula, el brazo de adrizamiento es negativo, es decir la embarcación se va a escorar permanentemente. El corte de cada curva con el eje de las abcisas denotará este ángulo de equilibrio en avería, que en el caso analizado, valen 2.72 y 2.26 grados, para la condición Cargada y 10%, respectivamente.

Escora	Calado	Trimado	I.D.	Desplaz.	Volum.	TCB	VCB	LCB
0	1.55	-0.047	101	45.501	44.39	2.525	0.825	-1.209
			800	-24.451	-23.85	1.385	0.726	-1.221
			INT	145.8	142.24	0	0.996	-1.108
3	1.577	-0.049	101	50.888	49.65	2.622	0.913	-1.213
			800	-25.682	-25.06	1.388	0.768	-1.223
			INT	149.954	146.3	0.779	1.032	-1.111
6	1.599	-0.043	101	56.207	54.84	2.703	1.002	-1.216
			800	-26.847	-26.19	1.39	0.808	-1.225
			INT	154.108	150.35	1.523	1.107	-1.115
9	1.615	-0.026	101	61.449	59.95	2.772	1.093	-1.219
			800	-27.939	-27.26	1.393	0.847	-1.228
			INT	158.26	154.4	2.236	1.219	-1.119
12	1.617	-0.026	101	66.299	64.68	2.834	1.18	-1.221
			800	-28.819	-28.12	1.397	0.879	-1.229
			INT	162.228	158.27	2.884	1.359	-1.122
15	1.587	-0.065	101	70.215	68.5	2.892	1.256	-1.22
			800	-29.26	-28.55	1.405	0.897	-1.228
			INT	165.704	161.66	3.421	1.507	-1.123
18	1.51	-0.172	101	72.65	70.88	2.951	1.312	-1.214
			800	-29.033	-28.33	1.418	0.893	-1.222
			INT	168.365	164.26	3.82	1.641	-1.121
21	1.336	-0.245	101	72.142	70.38	3.02	1.328	-1.21
			800	-27.529	-26.86	1.446	0.846	-1.215
			INT	169.361	165.23	3.983	1.704	-1.119
24	1.096	-0.242	101	69.789	68.09	3.102	1.324	-1.208
			800	-25.2	-24.59	1.488	0.775	-1.212
			INT	169.337	165.21	4.005	1.713	-1.119
27	0.846	-0.24	101	67.265	65.62	3.19	1.324	-1.207
			800	-22.768	-22.21	1.542	0.705	-1.207
			INT	169.246	165.12	4.025	1.722	-1.12

Escora	GZ	TCB	VCB	LCB	Calado	Trim.
0	-0.65	-0.65	1.005	-1.093	1.55	-0.047
3	0.068	0.152	1.026	-1.093	1.577	-0.049
6	0.798	0.963	1.09	-1.093	1.599	-0.043
9	1.538	1.783	1.198	-1.095	1.615	-0.026
12	2.245	2.567	1.343	-1.095	1.617	-0.026
15	2.846	3.246	1.505	-1.093	1.587	-0.065
18	3.285	3.768	1.659	-1.09	1.51	-0.172
21	3.396	3.981	1.732	-1.088	1.336	-0.245
24	3.296	4.002	1.741	-1.088	1.096	-0.242
27	3.187	4.022	1.751	-1.089	0.846	-0.24

Tabla 6.- Estabilidad en Avería, Condición Cargada

Escora	Calado	Trimado	I.D.	Desplaz.	Volum.	TCB	VCB	LCB
0	1.325	-0.046	101	38.265	37.33	2.497	0.71	-1.203
			800	-21.271	-20.75	1.416	0.62	-1.215
			INT	113.694	110.92	0	0.872	-0.932
3	1.352	-0.049	101	43.631	42.57	2.611	0.798	-1.207
			800	-22.522	-21.97	1.418	0.662	-1.217
			INT	117.808	114.93	0.969	0.913	-0.942
6	1.373	-0.043	101	48.897	47.7	2.703	0.888	-1.211
			800	-23.694	-23.12	1.42	0.702	-1.22
			INT	121.902	118.93	1.879	1.003	-0.952
9	1.381	-0.057	101	53.783	52.47	2.781	0.975	-1.213
			800	-24.661	-24.06	1.424	0.736	-1.221
			INT	125.822	122.75	2.696	1.129	-0.96
12	1.354	-0.14	101	57.575	56.17	2.851	1.047	-1.209
			800	-25.116	-24.5	1.433	0.754	-1.217
			INT	129.159	126.01	3.345	1.268	-0.963
15	1.279	-0.283	101	59.829	58.37	2.921	1.1	-1.201
			800	-24.873	-24.27	1.449	0.749	-1.207
			INT	131.656	128.44	3.811	1.395	-0.96
18	1.105	-0.368	101	59.119	57.68	3.001	1.112	-1.194
			800	-23.331	-22.76	1.483	0.703	-1.198
			INT	132.489	129.26	3.983	1.45	-0.958
21	0.875	-0.365	101	56.857	55.47	3.096	1.109	-1.192
			800	-21.081	-20.57	1.535	0.636	-1.192
			INT	132.476	129.24	4.007	1.458	-0.958
24	0.635	-0.362	101	54.49	53.16	3.204	1.114	-1.189
			800	-18.728	-18.27	1.603	0.571	-1.184
			INT	132.461	129.23	4.032	1.468	-0.958
27	0.383	-0.358	101	51.994	50.73	3.327	1.129	-1.186
			800	-16.251	-15.85	1.694	0.51	-1.173
			INT	132.442	129.21	4.058	1.481	-0.958

Escora	GZ	TCB	VCB	LCB	Calado	Trim.
0	-0.677	-0.677	0.88	-0.887	1.325	-0.046
3	0.224	0.332	0.907	-0.886	1.352	-0.049
6	1.135	1.35	0.987	-0.887	1.373	-0.043
9	2.004	2.324	1.115	-0.886	1.381	-0.057
12	2.719	3.143	1.266	-0.882	1.354	-0.14
15	3.222	3.755	1.412	-0.875	1.279	-0.283
18	3.322	3.98	1.476	-0.871	1.105	-0.368
21	3.203	4.003	1.484	-0.871	0.875	-0.365
24	3.077	4.028	1.494	-0.872	0.635	-0.362
27	2.945	4.053	1.507	-0.872	0.383	-0.358

Tabla 7.- Estabilidad en Avería, Condición 10%

Para comprobar los resultados, se van a analizar los resultados a 0º en la condición Cargada. Nótese de la tabla del Apéndice 1, que para un calado de 1.55 m (Calado final luego de la inundación, Tabla 6), el área Seccional del semicasco es 3.597 m^2, y asumiendo que este valor se mantiene constante a lo largo del compartimento inundado, el volumen de agua que entra será:

$$\delta\nabla_{\text{Inund.}} = 0.90 * 3.597\text{m}^2 * 6.5\text{m}$$
$$= 21.04\,\text{m}^3$$

Este volumen corresponde aproximadamente a la suma de los volúmenes inundados, 101 y 800, en la tabla 6.

Luego, se aplica el método de la Pérdida del Empuje, que establece que una vez que se ha logrado equilibrar y longitudinalmente coinciden, los pesos con la boyantez, se calcula la nueva posición del

Centro de Boyantez, considerando que el ingreso de agua implica una pérdida de dicho parámetro. Finalmente, conociendo la posición del Centro de Boyantez resultante y la del CG original, se aplica la siguiente relación, para determinar el brazo adrizante:

$$GZ = TCB\cos\phi - (KG - VCB)\operatorname{sen}\phi$$

donde ϕ es el ángulo de escora.

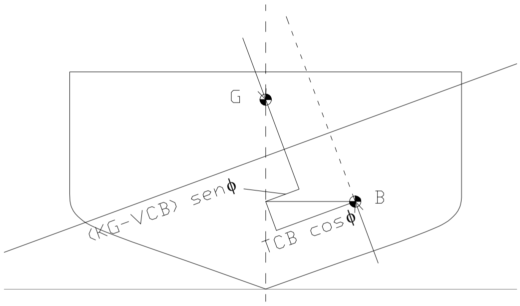


Figura 8.- Brazo Adrizante en Avería

4.- Requerimientos de Estabilidad de Catamaranes

A continuación se va a resumir los requerimientos establecidos por la OMI para embarcaciones multicasco, [8]. A diferencia de los monocascos, el ángulo para GZ máximo es de 10°, y no se menciona al GM_T, dado que se espera un elevado valor de este parámetro.

Criterios de estabilidad sin avería.

1.- Área bajo la curva GZ.	A1 = 0,055 x 30° / θ (m.rad) Donde θ : 1. Ángulo de inundación descendente. 2. Ángulo al que se da el GZ máximo. 3. 30°
2.- GZ máximo	El valor máximo de GZ corresponderá a un ángulo de 10° como mínimo.
3.- Balance producido por las olas	Se determinará matemáticamente el efecto sobre la seguridad de la nave del balance en mar encrespada. Al realizar los cálculos, el área residual bajo la curva GZ (A2), es decir, más allá del ángulo de escora (θh), será como mínimo de 0,028 m ◦ rad hasta el ángulo de balance θr. A falta de pruebas con modelos u otros datos, se tomará θr como 15°, o un ángulo (θd - θh), si éste es menor.

Tabla 8.- Resumen de los requerimientos de Estabilidad Intacta para Catamaranes, [8]

Criterios de estabilidad residual después de avería

1.-El área prescrita A_2 no sea inferior a 0,028 m.rad

2.-No exista ninguna prescripción relativa al ángulo con el que se obtendrá el valor máximo de GZ.

3.- En las etapas intermedias de inundación, el brazo adrizante máximo será de 0.05 m como mínimo y la gama de brazos adrizantes positivos será de 7° por lo menos. En todos los casos basta con suponer una sola brecha en el casco y una sola superficie libre.

Tabla 9.- Resumen de los requerimientos de Estabilidad después de Avería para Catamaranes, [8]

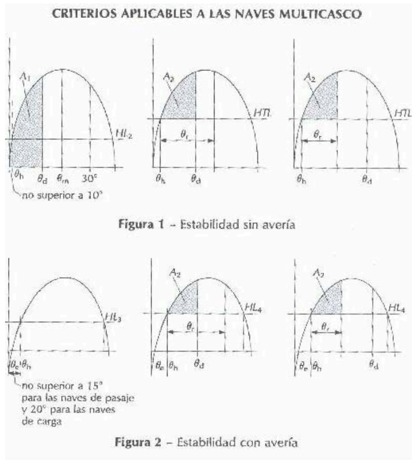


Figura 9.- Detalles de las evaluaciones de los criterios

5.- Conclusiones y Recomendaciones

Se ha mostrado como se puede usar la versión comúnmente disponible en el medio de un programa de cálculos hidrostáticos para obtener la curva de Brazos Adrizantes de una embarcación tipo catamarán. Dada la necesidad de emplear dos funciones, se ha utilizado la opción de definir apéndices "negativos" con una tabla de puntos que definen sus secciones transversales.

La curva de brazos adrizantes de un catamarán, tiene una elevadísima pendiente en el origen, producto a su vez de la elevada altura metacéntrica, GM_0, resultado de la gran inercia "efectiva" del Plano de Flotación, que se produce al aplicar el Principio de Ejes Paralelos. También se observa que la curva tiene un máximo a un ángulo relativamente pequeño, lo que contrasta con el requerimiento estándar para embarcaciones monocasco, de que dicho máximo debe darse a un ángulo no menor a 25 grados, [7].

Consistente con las observaciones hechas en el párrafo anterior, se encuentra que los requerimientos de estabilidad para catamaranes, presentados en el Anexo 7 de [8], no menciona al GM_T entre sus requerimientos, mientras que el ángulo para el GZ máximo debe ser 10º. Estas entre las diferencias más notorias respecto de los requerimientos para embarcaciones monocascos dados en [7].

Bibliografía

[1] Calle, Y., Análisis de la Estabilidad de un Catamarán empleando Pruebas de Modelos. Tesis de Grado de Ingeniería Naval, FIMCM, ESPOL, en preparación.

[2] DIGMER, Estadísticas Nacionales de las Embarcaciones tipo Catamarán. Dirección General de la Marina Mercante y del Litoral, 2006.

[3] Marín, J. R., Uso de SHCP para Cálculos Hidrostáticos de Buques. Seminario, Fac. de Ing. Marítima y CC. del Mar, ESPOL, 2003

[4] Marín, J. R., Análisis de Estabilidad Intacta y en Avería de la M/N Aegean Sea, 2000.

[5] Marín, J. R., GForms: Programa para Generación Preliminar de las Líneas de Formas de un Buque, 2001.

[6] Naval Ship Engineering Center, Ship Hull Characteristics Program, Users Manual. Armada de EE.UU., NAVSEC, 1976

[7] OMI, Código de Estabilidad sin Avería para Todos los tipos de buques regidos por los Instrumentos de la OMI. Resoluc. A.749 (18), OMI, 2002

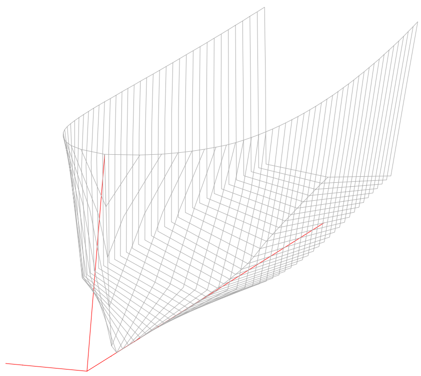
[8] OMI, Código NGV 2000, Código internacional de seguridad para naves de gran velocidad, Resolución MSC.97 (73). OMI, 2005

APENDICES

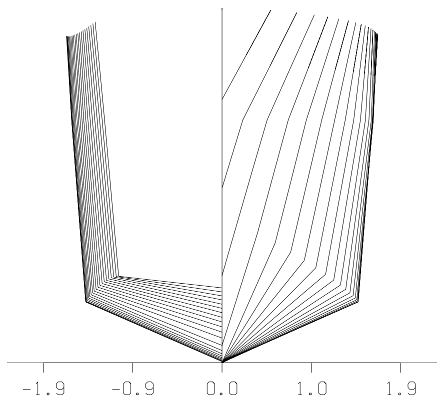
1. Características de cada Semicasco

Eslora total (Cbta. Pcpal.)	29.0	m
Manga Semicasco	3.30	m
Puntal	3.50	m
Calado diseño	1.40	m

H	VOL	DESP	LCB	KB	BM_T	A_{PF}	A_{SM}
1	33.8	34.6	-0.46	0.69	1.16	66.27	1.95
1.1	40.5	41.4	-0.71	0.75	0.99	67.1	2.246
1.2	47.2	48.4	-0.88	0.8	0.87	67.82	2.543
1.4	60.9	62.4	-1.09	0.92	0.71	69.16	3.143
1.55	71.3	73.1	-1.18	1	0.62	70.13	3.597
1.7	81.9	83.9	-1.25	1.08	0.56	71.1	4.055
1.9	96.3	98.6	-1.31	1.19	0.5	72.4	4.67
2.1	110.9	113.6	-1.34	1.29	0.45	73.74	5.292

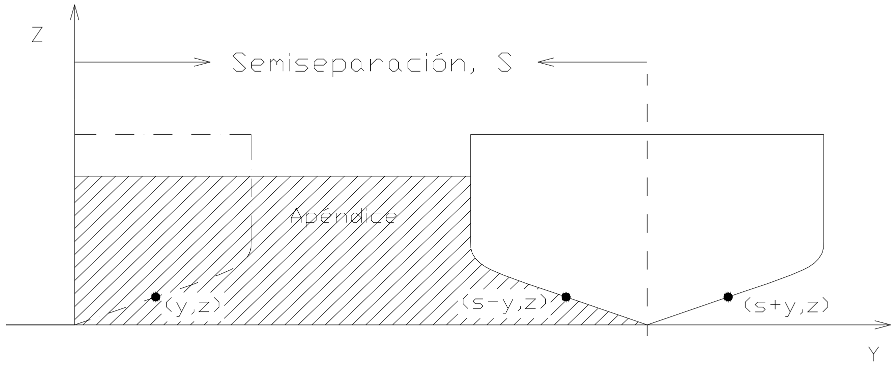


SEMICASCO CAT29



2. Algoritmo para preparar el archivo de Datos de un catamarán a partir de la tabla de puntos de un semicasco.

Partiendo de la tabla de puntos de un semicasco, (x, y, z), se forma dos grupos de puntos que definen el exterior de un casco (x, y+s, z); el segundo grupo de puntos definen el apéndice negativo, y tienen coordenadas: (x, s-y, z).



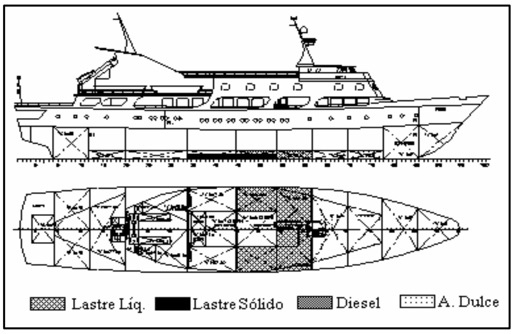
3. Archivo de Datos para desarrollar los Cálculos Hidrostáticos y de Estabilidad de un Catamarán

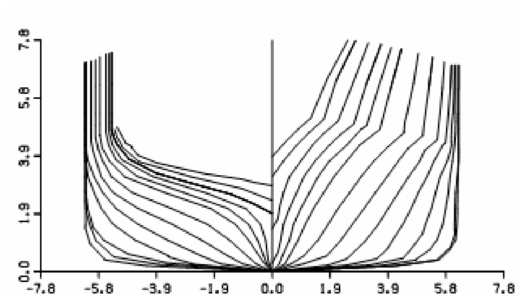
```
001
CATAMARAN 29
FECHA
  1  6  8  0  0  0  0  0  0  0
0.145E01 .05 .05  0.290E+02  1.0  1  2  (Número de apéndices)
0.000   3.850   3.775   0
0.000   3.851   3.776   7777
0.000   3.852   3.777   7777
0.000   3.850   3.800   8888
…
10.000  3.850   0.012   0
10.000  5.300   0.650   7777
10.000  5.450   2.600   7777
10.000  5.504   3.500   8888
…
20.000  3.850   0.800   0
20.000  4.950   0.925   7777
20.000  5.100   2.600   7777
20.000  5.200   3.650   9999
1 -1espacio entre cascos ...
0.145E+01 .005 .005 0.290E+02  1.0  0  2
0       3.85            3.77478 0
0       3.849           3.77578 7777
0       3.848           3.77678 7777
0       3.849963379     3.8     8888
…
10.00   3.850   0.012   0
10.00   2.400   0.650   7777
10.00   2.250   2.590   7777
10.00   0.0     2.611   8888
…
20      3.85    0.8     0
20      2.75    0.925   7777
20      2.6     2.6     7777
20      2.5     3.65    9999

9999999999 9999999999 1.40 0.00 .9756
```

```
14 0 0 0 0.0        HIDROSTATICAS
1.00  1.10 1.20 1.57 1.70 1.90 2.10
2.30  2.50 2.59 2.61 2.70 2.90 3.10

2 0  124.70  96.70 0. 0. 0. 0. 0. ESTABILIDAD INTACTA
1 0 -1.10 -0.89 0.000 0.0 0.0 0.0 0.0 1
2.625 2.975 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
10 3. 6. 9. 12. 15. 18. 21. 24. 27. 30.

001  2.625   ESTABILIDAD EN AVERIA
10 0.0 3.0 6. 9. 12. 15. 18. 21. 24. 27.
101 COMPART. BAJO CBTA.     1 0.9  12.50  19.00 999999 999999 999999 999999
800 ESPACIO ENTRE SEMICASCO 1-0.9  12.50  19.00 999999 999999 999999 999999+1
0.1450E+01 .005  .005  0.2900E+02  1.0  0  2 SPAC,ZSC,YSC,LBP,PSC,NAPN,KINDO
0       3.85            3.77478 0
0       3.849           3.77578 7777
0       3.848           3.77678 7777
0       3.849963379     3.8     8888
…
10.00   3.850   0.012   0
10.00   2.400   0.650   7777
10.00   2.250   2.600   8888
…
20      3.85    0.8     0
20      2.75    0.925   7777
20      2.6     2.6     7777
20      2.5     3.65    9999
999
  101  800  000  000  000  000  000  000  000  000  000  000  000  000  000 0
99999 0     0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
001     2.975
-0.89   96.70  9999999999  9999999999   .9756  DESIN
  101  800  000  000  000  000  000  000  000  000  000  000  000  000  000 0
99999 99999 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

4. Características de una embarcación turística monocasco, [4]

A continuación se presentan algunas características de una embarcación monocasco que presta servicios turísticos en las Islas Galápagos.





Cond.	Desplaz. [tons]	Calado [m]	Asiento [m], +Popa	Eslora [m]
1	1233.4	3.11	0.10	57.11
2	1471.8	3.52	0.29	57.43
3	1364.4	3.31	0.66	57.03
4	1327.3	3.25	0.48	57.07