

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA INFLUENCIA DE LA SEPARACIÓN DE LOS CASCOS SOBRE LA RESISTENCIA EN UN CATAMARÁN DE 32.5 METROS

José R. Marín, Jorge J. Chávez, y, Antonio E. Lucín
Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y Recursos Naturales
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral,
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
jmarin@espol.edu.ec, jjchavez@espol.edu.ec, alucin@espol.edu.ec

Resumen

Este trabajo trata de establecer pautas de cómo seleccionar la separación entre semicascos de un catamarán de manera racional incluyendo la Interferencia generada por olas entre los semicascos para disminuir la Resistencia Total al Avance. La Interferencia se la calcula para el catamarán "Cormorant Evolution" de 32.5 metros de eslora, por medio del método de Yokoo y Tasaki. Experimentalmente se determina la Interferencia por pruebas de arrastre de un modelo por el costado de un bote con motor fueraborda. Para este estudio se tomaron tres separaciones entre semicascos: la Original (0.561 m), una Reducida (0.505 m) y una Incrementada (0.617 m). Además se consideran dos Condiciones de Carga: Ligera y Cargada. Teóricamente, usando el método de Yokoo y Tasaki, la Interferencia entre semicascos para la velocidad equivalente a la de diseño, aumenta la Resistencia Total para todas las separaciones y condiciones de carga. La Interferencia que menos produce tal efecto es la separación Aumentada, con 0.009 y 0.018 Kg para la condición Ligera y Cargada del modelo, respectivamente. En cambio, Experimentalmente, la Interferencia produjo un decremento en la Resistencia Total. Para la velocidad equivalente a la de diseño, la separación que mas redujo la Resistencia es la Original: -0.167 y -0.032 Kg para la condición Ligera y Cargada respectivamente. Por lo que se concluye, que el catamarán "Cormorant Evolution", se eligió una correcta separación entre semicascos.

Abstract

This paper tries to establish guidelines on how to rationally select the separation between demihulls in a catamaran to include the Interference generated by waves between them to reduce the total resistance. The Interference is calculated for the 32.5 meter long "Cormorant Evolution" catamaran, using Yokoo and Tasaki method. The Interference was experimentally determined using model drag tests from the side of self propelled boat. For the tests three demihulls separations were considered: Original (0.561 m), Reduced (0.505 m) and Increased (0.617 m). Also two loading conditions were considered: Light and Loaded. Theoretically, the interference between demihulls for the equivalent design speed provides an increase to the total resistance for all separations and load conditions. The minimum Interference effect is produced by the Increased separation: 0.009 and 0.018 kg for the light and loaded condition respectively. On the other hand, experimentally, the interference produced a decrease to the total resistance. For equivalent design speed, the separation which produces the maximum reduction is the Original: -0.167 and -0.032 kg for the light and loaded condition, respectively. To sum up, the "Cormorant Evolution" catamaran, was given a proper spacing between demihulls.

Palabras claves: Catamarán, Interferencia, Pruebas de modelos de buques

1. Introducción

Debido a la importancia del turismo en Las Islas Galápagos se ha desarrollado en el país la construcción en serie de catamaranes los cuales tienen una gran extensión de cubierta y una buena estabilidad. Junto a este crecimiento, las exigencias ambientales en las Islas son cada vez más estrictas por lo que los ingenieros navales tienen la necesidad de construir embarcaciones que consuman menor cantidad de combustible disminuyendo así las emisiones de CO₂ y también los costos operativos de los buques.

Para calcular la resistencia al avance de una embarcación, el método más confiable es mediante pruebas con modelos, dado que los otros procedimientos: Analíticos y Numéricos son muy complejos. En el caso de los catamaranes, además de la resistencia al avance de cada casco, existe una componente de Interferencia producida por la superposición de los sistemas de olas generadas por cada uno de ellos y por la alteración del flujo sobre un casco producida por la presencia del otro. Esta interferencia depende en gran medida de la separación de los cascos y de la velocidad de la embarcación, por

lo que es importante determinar racionalmente la separación entre cascos durante su diseño.

Dado que en nuestro país no existe un tanque de pruebas, las estimaciones propulsivas de los buques se han desarrollado con ecuaciones de regresión, basadas en ensayos con modelos, por ejemplo Holtrop. Una alternativa sería el realizar pruebas al aire libre con una lancha a la que se le instale un brazo mecánico lateral para halar el modelo. Se tendrían ciertos inconvenientes que enfrentar, entre ellos está la influencia del viento, los movimientos de la lancha que afectan los asentamientos del modelo y la dirección de la fuerza de arrastre; estos inconvenientes se los debería verificar detenidamente en las pruebas, a fin de minimizarlos.

2. MÉTODO DE KOICHI Y TASAKI PARA EL CÁLCULO DE LA INTERFERENCIA

2.1 Descripción del Buque Prototipo y del Modelo.

El turismo es la fuente más importante de ingresos para los habitantes de las Islas Galápagos. Todas las demás actividades en las Islas están directa o indirectamente relacionadas al negocio del turismo. Este se desarrolla con mucha intensidad ya que la cifra de visitantes a Galápagos llega cerca de los 200.000 turistas por año por lo que existen más de 60 embarcaciones de diferentes compañías que prestan dicho servicio. La embarcación analizada es el catamarán “Cormorant Evolution“, [1], destinado al turismo en Galápagos; fue construido por la empresa “Astillero y Marina Botto Cía. Ltda.”.

El catamarán aquí analizado, [1], tiene una Eslora total de 32.5 metros, Manga de 12.5 metros, un Puntal de 3.52 metros y Calado de diseño de 1.4 metros. La separación entre los cascos es de 9.11 metros entre líneas de crujías y la manga de un casco es de 3.09 metros. La sección Media tiene forma de V, con un coeficiente de 0.767. La embarcación tiene dos chinas, Bulbo en proa, un coeficiente de bloque de 0.567 y un LCB de -1.229 metros con respecto de Sección Media (positivo hacia proa). El desplazamiento de un casco del catamarán es de 58.52 toneladas y la velocidad de diseño es de 10 nudos que corresponde a un número de Froude de 0.298. A continuación se muestran las formas de la embarcación:

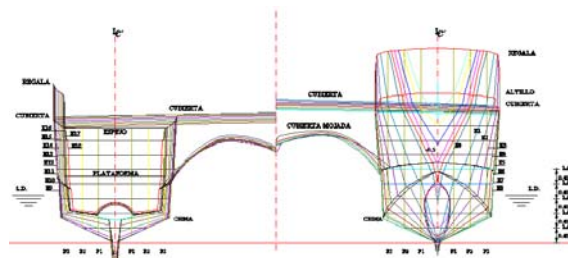


Figura 1. Formas del “Cormorant Evolution”.

Con las formas del buque prototipo se construye un modelo para el trabajo experimental. El rango de velocidad a trabajar del modelo es de 1 a 4 nudos, que corresponde al bote que arrastra el modelo. Luego, igualando el número de Froude del modelo y el buque Prototipo, se obtuvo que la eslora del modelo es de 2.0 metros, y con razón de escala $\lambda=16.25$.

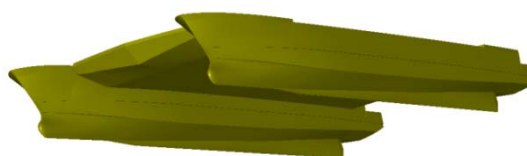


Figura 2. Vista en 3D del modelo

Para este estudio se consideran dos condiciones de carga: Ligera y Cargada, con las siguientes características hidrostáticas para el buque prototipo y el modelo:

Tabla 1. Condiciones de carga.

ITEM	SIMB.	UNID.	LIGERA		CARGADA	
			BUQUE	MOD.	BUQUE	MOD.
Eslora Total	L	M	32.5	2	32.5	2
Eslora en flotación	Lwl	M	30.21	1.87	30.42	1.89
Manga del Catamarán	B _{cat}	M	12.2	0.751	12.2	0.751
Manga de un casco	B	M	3.09	0.19	3.09	0.19
Sep. entre L. de Crujía	2kl	M	9.11	0.561	9.11	0.561
Puntal	D	M	3.52	0.22	3.52	0.22
Calado	T	M	1.4	0.086	1.66	0.103
Desplazamiento	Δ	ton	58.52	0.018	78.74	0.024
Volumen	Vol	m ³	57.09	0.018	76.84	0.023
Superficie Mojada	S	m ²	115.39	0.51	131.99	0.56
LCB(c.r.a.S.Med.)+pr	LCB	M	-1.229	-0.04	0.815	-0.04
Velocidad	V	nudos	10	2.48	10	2.48
Número de Froude	F _n		0.298	0.298	0.296	0.296
Coficiente Bloque	C _b		0.567	0.567	0.604	0.604
Coficiente de S.M.	C _m		0.739	0.739	0.756	0.756
Coficiente Prismático	C _{p1}		0.767	0.767	0.798	0.798

2.2.- Cálculo de la Resistencia de un Casco.

Para calcular la resistencia al avance, se usa el método de Holtrop, [2], basado en regresiones a partir de pruebas con modelos, y que fue implementado en [3]. El método incluye el cálculo de la influencia generada por el bulbo de proa en base al área transversal y la posición vertical de su centroide. La resistencia total y sus componentes, para el modelo de un casco del catamarán se calcula en un rango de velocidades de 1 a 4 nudos, y, en dos condiciones de carga (Ligera y Cargada); en condición Cargada a la velocidad equivalente de diseño 2.48 nudos la resistencia es 0.38 kg, y para la Ligera, 0.3 kg.

Para el cálculo de la resistencia total, Holtrop la subdivide en las siguientes componentes, [4]:

$$R_{\text{total}} = R_F(1 + k_1) + R_{\text{APP}} + R_{\text{OW}} + R_B + R_{\text{TR}} + R_A$$

En donde:

- $(1+k_1)R_F$, es la Resistencia Friccional
- R_{APP} , es la Resistencia por los Apéndices.
- R_{OW} , es la Resistencia producida por Olas.
- R_B , es la Resistencia generada por el Bulbo.
- R_{TR} , es la Resistencia por la inmersión del Espejo, y,
- R_A , es la Resistencia por correlación Modelo-Buque.

Las variables de entrada necesarias para la ejecución del programa son:

Tabla 2. Variables para el método de Holtrop.

ITEM	DESCRIPCION	Ligera	Cargada	UNID.
L	Eslora en Flotación	1.873	1.886	M
B	Manga en Flotación	0.19	0.22	M
T	Calado	0.086	0.103	M
Vol	Volumen Sumergido	0.018	0.023	M ³
Smoj	Superficie Mojada	0.509	0.57	M ²
Cb	Coefficiente de Bloque	0.567	0.604	--
Cp	Coefficiente Prismático	0.739	0.756	--
CM	Coefficiente de Sección Media	0.767	0.798	--
CWL	Coefficiente de Plano de Flotación	0.839	0.855	--
LCB	Centro de Boyantez Longitudinal en porcentaje (con respecto a Sec. Media) + proa	1.929	2.274	%
AT	Área del Espejo Sumergida	0.004	0.007	M ²
ABT	Área Transversal del Bulbo	0.003	0.003	M ²
HB	Posición Vertical del centroide del Bulbo desde la línea base	0.063	0.063	M
VdISENO	Velocidad de Avance	2.48	2.48	NUDOS

Luego de ejecutar el programa, se obtuvieron los siguientes resultados para un semicasco:

Tabla 3. Resistencia de un semicasco, Ligera

CONDICION LIGERA						
Velocidad (NUDOS)	Rest. Fric. (Kg.)	Rest. Olas (Kg.)	Rest. Trans. (Kg.)	Rest. Bulbo (Kg.)	Rest. Corr. (Kg.)	Rest. Total (Kg.)
1.86	0.121	0.006	0.023	2.29E-06	0.020	0.170
1.98	0.136	0.009	0.025	2.37E-06	0.023	0.193
2.11	0.152	0.012	0.027	2.44E-06	0.025	0.216
2.23	0.168	0.017	0.028	2.50E-06	0.029	0.242
2.36	0.185	0.023	0.030	2.56E-06	0.032	0.271
2.48	0.203	0.030	0.031	2.61E-06	0.035	0.300
2.60	0.222	0.034	0.033	2.65E-06	0.039	0.328
2.73	0.241	0.037	0.034	2.69E-06	0.043	0.354
2.85	0.261	0.040	0.034	2.73E-06	0.047	0.382
2.98	0.282	0.045	0.035	2.76E-06	0.051	0.413
3.10	0.304	0.054	0.035	2.79E-06	0.055	0.447
3.22	0.326	0.067	0.035	2.82E-06	0.060	0.487
3.35	0.349	0.085	0.034	2.85E-06	0.064	0.532
3.47	0.373	0.108	0.033	2.87E-06	0.069	0.583
3.60	0.397	0.132	0.031	2.89E-06	0.074	0.635
3.72	0.422	0.158	0.029	2.91E-06	0.079	0.689

Tabla 4. Resistencia de un semicasco, Cargada

CONDICION CARGADA						
Velocidad (NUDOS)	Rest. Fric. (Kg.)	Rest. Olas (Kg.)	Rest. Trans. (Kg.)	Rest. Bulbo (Kg.)	Rest. Corr. (Kg.)	Rest. Total (Kg.)
1.86	0.138	0.008	0.046	1.64E-09	0.022	0.214
1.98	0.155	0.011	0.051	1.75E-09	0.025	0.243
2.11	0.173	0.015	0.055	1.85E-09	0.029	0.272
2.23	0.192	0.021	0.060	1.95E-09	0.032	0.305
2.36	0.211	0.030	0.065	2.04E-09	0.036	0.341
2.48	0.232	0.040	0.069	2.12E-09	0.039	0.380
2.60	0.253	0.048	0.074	2.20E-09	0.043	0.417
2.73	0.275	0.052	0.078	2.27E-09	0.048	0.452
2.85	0.298	0.055	0.082	2.34E-09	0.052	0.487
2.98	0.322	0.061	0.085	2.40E-09	0.057	0.524
3.10	0.346	0.070	0.089	2.46E-09	0.062	0.566
3.22	0.371	0.085	0.092	2.51E-09	0.067	0.615
3.35	0.398	0.107	0.094	2.56E-09	0.072	0.671
3.47	0.425	0.137	0.096	2.61E-09	0.077	0.736
3.60	0.452	0.170	0.098	2.65E-09	0.083	0.803
3.72	0.481	0.204	0.099	2.69E-09	0.089	0.874

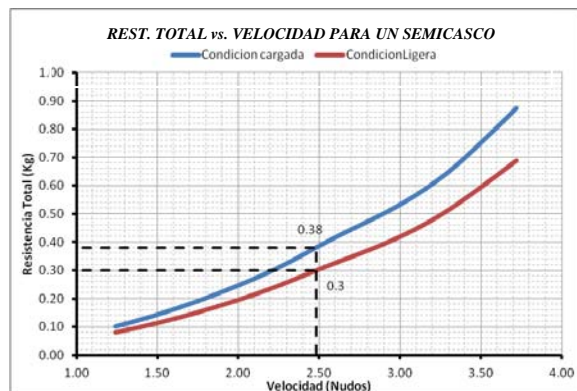


Figura 3. Resistencia de un semicasco.

La velocidad de diseño del modelo es de 2.48 nudos, y la resistencia Total en condición Ligera es de 0.3 Kg y Cargada es 0.38 Kg.

2.3 Método de Yokoo y Tasaki

La Interferencia investigada en esta tesis es producida por los trenes de olas de cada semicasco, que al interactuar entre sí generan una reducción o un aumento de la resistencia residual total de todo el catamarán. Yokoo y Tasaki, [5] y [6], desarrollaron un proceso analítico que resuelve el flujo potencial para calcular la Interferencia entre semicascos de un catamarán. Las variables que se utilizan para estimar dicho parámetro son: la resistencia residual de un semicasco, las dimensiones principales, la velocidad de crucero y la separación entre los semicascos.

La resistencia producida por la generación de olas en los catamaranes, se puede obtener mediante la superposición de los potenciales de velocidad, o bien por patrones de onda libre suponiendo que las condiciones de frontera de un semicasco del catamarán no interfieren con la del otro. Con todas estas suposiciones según Aláez, [7], los resultados de Yokoo y Tasaki no difieren mucho con las obtenidas experimentalmente por otros investigadores, y por ello será usado este método para el presente trabajo. El sistema de referencia a usar para resolver el flujo potencial se presenta en la figura 4.

Yooko y Tasaki, [5] y [6], describen la resistencia Residual como:

$$R_{2w} = 2R_{ow} + 2R_w$$

donde:

- R_{2w} : Resistencia Residual del catamarán
- R_{ow} : Resistencia Residual de un semicasco, y,
- R_w : Interferencia de un semicasco.

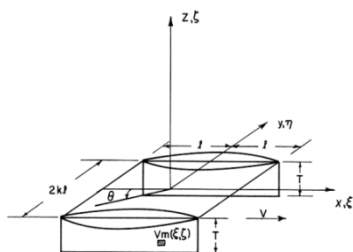


Figura 4. Sistema de coordenadas, [5].

2.4 Cálculo de la Interferencia del Modelo.

Para el cálculo de la Interferencia utiliza una gráfica que presenta la razón entre dicho parámetro y la resistencia residual de un casco, [5] y [6]. Las variables de entrada son: la separación relativa entre semicascos y el número de Froude. La Interferencia entre los semicascos del modelo se la calcula para las condiciones de carga consideradas, y con tres separaciones entre los semicascos, obteniéndose para la velocidad de diseño en las dos condiciones de carga y para todas las separaciones dadas una Interferencia positiva. Para la velocidad equivalente de diseño (2.48 nudos), la menor interferencia se obtuvo a una separación de 0.617 metros la cual fue en Condición Ligera de 0.009 Kg, y, en Condición Cargada de 0.018 Kg.

Yokoo y Tasaki resumen los resultados de su trabajo en una gráfica que muestra la Interferencia como un porcentaje de la resistencia residual versus el número de Froude teniendo como parámetro la razón $2k/L$. La gráfica mencionada se la muestra en la Figura 5.

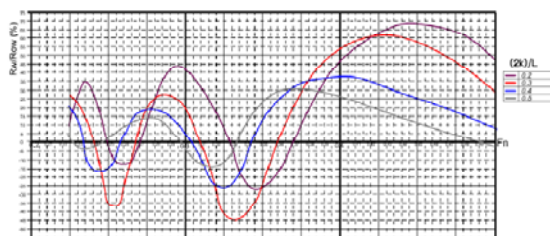


Figura 5. Interferencia vs el Número de Froude, [5].

Para el análisis del catamarán de este trabajo se consideran dos condiciones de carga (Ligera y Cargada), y las separaciones de los semicascos a analizar son la de diseño (0.561 m) y otras dos que

serían +/- el 10% de la de diseño (0.505 m y 0.617 m). La Resistencia Residual es la suma de la resistencia producida por las Olas, la producida por el Bulbo y la que se produce por inmersión del espejo. Con todos estos datos se obtiene los siguientes valores para la Interferencia:

Tabla 5. Interferencia para la Separación Reducida (0.505 m.)

Velocidad (nudos)	Separación Reducida (0.505 m.)							
	Condición Ligera (2k/l = 0.269)				Condición Cargada (2k/l = 0.267)			
	Fn	Rest. Residual (Row) (Kg)	(Row/Row)%	Interferencia (Row) (Kg)	Fn	Rest. Residual (Row) (Kg)	(Row/Row)%	Interferencia (Row) (Kg)
1.860	0.223	0.029	26.26%	0.008	0.222	0.054	25.40%	0.014
1.984	0.238	0.034	9.79%	0.003	0.237	0.062	13.17%	0.008
2.108	0.253	0.039	-33.63%	-0.013	0.252	0.071	-32.07%	-0.023
2.232	0.268	0.045	0.45%	0.000	0.267	0.081	-3.50%	-0.003
2.356	0.283	0.053	27.67%	0.015	0.282	0.094	28.00%	0.026
2.480	0.298	0.061	24.44%	0.015	0.297	0.109	26.84%	0.029
2.604	0.312	0.067	-1.47%	-0.001	0.311	0.121	2.06%	0.002
2.728	0.327	0.070	-37.38%	-0.026	0.326	0.130	-34.52%	-0.045
2.852	0.342	0.074	-36.86%	-0.027	0.341	0.137	-37.16%	-0.051
2.976	0.357	0.080	-9.39%	-0.007	0.356	0.146	-12.50%	-0.018
3.100	0.372	0.089	21.44%	0.019	0.371	0.159	18.91%	0.030
3.224	0.387	0.101	42.21%	0.043	0.386	0.177	40.59%	0.072
3.348	0.402	0.119	54.05%	0.064	0.400	0.201	52.62%	0.106
3.472	0.417	0.141	59.86%	0.084	0.415	0.234	59.36%	0.139
3.596	0.432	0.164	62.01%	0.102	0.430	0.268	62.13%	0.167
3.720	0.446	0.187	60.05%	0.113	0.445	0.304	60.67%	0.184

Tabla 6. Interferencia para la Separación Original (0.561 m.)

Velocidad (nudos)	Separación Original (0.561 m)							
	Condición Ligera (2k/l = 0.200)				Condición Cargada (2k/l = 0.297)			
	Fn	Rest. Residual (Row) (Kg)	(Row/Row)%	Interferencia (Row) (Kg)	Fn	Rest. Residual (Row) (Kg)	(Row/Row)%	Interferencia (Row) (Kg)
1.860	0.223	0.029	27.94%	0.008	0.222	0.054	29.34%	0.016
1.984	0.238	0.034	2.68%	0.001	0.237	0.062	6.07%	0.004
2.108	0.253	0.039	-31.19%	-0.012	0.252	0.071	-33.12%	-0.023
2.232	0.268	0.045	4.13%	0.002	0.267	0.081	-0.00%	0.000
2.356	0.283	0.053	25.33%	0.014	0.282	0.094	25.46%	0.024
2.480	0.298	0.061	18.93%	0.011	0.297	0.109	21.39%	0.023
2.604	0.312	0.067	-7.05%	-0.005	0.311	0.121	-4.53%	-0.005
2.728	0.327	0.070	-39.58%	-0.028	0.326	0.130	-39.81%	-0.052
2.852	0.342	0.074	-31.04%	-0.023	0.341	0.137	-34.56%	-0.047
2.976	0.357	0.080	-2.13%	-0.002	0.356	0.146	-6.11%	-0.009
3.100	0.372	0.089	25.58%	0.023	0.371	0.159	23.61%	0.037
3.224	0.387	0.101	42.31%	0.043	0.386	0.177	41.82%	0.074
3.348	0.402	0.119	51.38%	0.061	0.400	0.201	51.32%	0.103
3.472	0.417	0.141	55.27%	0.078	0.415	0.234	56.08%	0.131
3.596	0.432	0.164	55.33%	0.091	0.430	0.268	57.03%	0.153
3.720	0.446	0.187	52.44%	0.098	0.445	0.304	54.34%	0.165

Tabla 7. Interferencia para Separación Incrementada (0.617 m.)

Velocidad (nudos)	Separación Incrementada (0.617 m.)							
	Condición Ligera (2k/l = 0.329)				Condición Cargada (2k/l = 0.327)			
	Fn	Rest. Residual (Row) (Kg)	(Row/Row)%	Interferencia (Row) (Kg)	Fn	Rest. Residual (Row) (Kg)	(Row/Row)%	Interferencia (Row) (Kg)
1.860	0.223	0.029	25.70%	0.008	0.222	0.054	27.16%	0.015
1.984	0.238	0.034	-1.85%	-0.001	0.237	0.062	-0.92%	-0.001
2.108	0.253	0.039	-23.79%	-0.009	0.252	0.071	-25.47%	-0.018
2.232	0.268	0.045	8.91%	0.004	0.267	0.081	5.68%	0.005
2.356	0.283	0.053	22.43%	0.012	0.282	0.094	22.78%	0.021
2.480	0.298	0.061	14.17%	0.009	0.297	0.109	16.81%	0.018
2.604	0.312	0.067	-9.58%	-0.006	0.311	0.121	-7.09%	-0.009
2.728	0.327	0.070	-34.06%	-0.024	0.326	0.130	-34.64%	-0.045
2.852	0.342	0.074	-19.31%	-0.014	0.341	0.137	-22.86%	-0.031
2.976	0.357	0.080	7.90%	0.006	0.356	0.146	4.78%	0.007
3.100	0.372	0.089	28.40%	0.025	0.371	0.159	26.82%	0.043
3.224	0.387	0.101	39.52%	0.040	0.386	0.177	39.70%	0.070
3.348	0.402	0.119	45.84%	0.055	0.400	0.201	46.12%	0.093
3.472	0.417	0.141	47.53%	0.067	0.415	0.234	48.64%	0.114
3.596	0.432	0.164	45.53%	0.075	0.430	0.268	47.40%	0.127
3.720	0.446	0.187	42.09%	0.079	0.445	0.304	44.00%	0.134

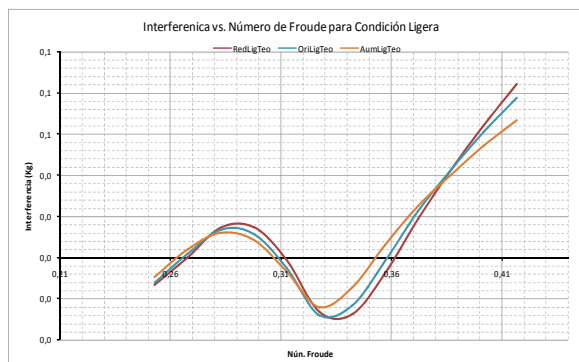


Figura 6. Interferencia para la Condición Ligera.

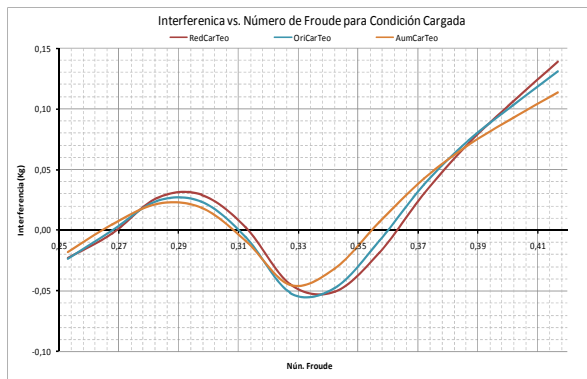


Figura 7. Interferencia para la Cond. Cargada.

La Separación que menos contribuye con la resistencia, es la Incrementada (0.617 m.) con un aumento de la resistencia residual del 14,17% (0.009 Kg) en condición Ligera y 16,81% (0.018 Kg) en la Cargada. Esto se debe a que la zona en la que está el número de Froude para todas las separaciones da una interferencia positiva. Si se aumentara la velocidad de diseño del modelo desde 2.6 a 3 nudos, la interferencia entraría en una zona negativa.

3. RESISTENCIA EXPERIMENTAL

3.1 Prueba de un Semicasco en Distintas Condiciones de Carga.

El ensayo para determinar la resistencia de un modelo de un semicasco del catamarán utilizado en esta tesis consiste en arrastrarlo desde un bote propulsado por un motor fueraborda, en el lago de la ESPOL y registrar la fuerza requerida para ello. Para el ensayo se construyen dos semicascos con láminas de fibra de vidrio y luego son conectados con estructuras de aluminio y madera. Las pruebas se las realiza en dos condiciones de carga (Ligera y Cargada) y a distintas velocidades. Para la recolección de información, se utiliza entre otros equipos una celda de carga que emite una señal que es digitalizada por una tarjeta de adquisición de datos y esta a su vez es transmitida a un computador portátil donde se almacena.

Para la construcción del modelo en madera de plywood se elaboran las cuadernas y el perfil en crujía, en donde se marca el alefriz a fin de que el modelo adquiera el mismo arrufo que el prototipo. En la sección de la proa se construyen cuadernas más cercanas para que las láminas de fibra que recubren a la estructura se amolden mejor a las formas del semicasco.



Figura 8. Construcción del modelo

Una vez que se arma la estructura de madera, esto es, se unen las cuadernas al perfil, se procede a cubrirla con láminas flexibles de fibra de vidrio, teniendo especial cuidado en la proa y en el bulbo, el cual es construido principalmente con masilla. Luego que se encuentra completamente cubierta la estructura, se procede a enmasillar, lijar y pintar cada uno de los semicascos.



Figura 9. Lijado final del modelo

En cada uno de los modelos de los semicascos, se instalaron dos mamparos transversales separados 1.04 m de distancia; estos elementos proveen una base sólida para la conexión de los semicascos. Por último, con el fin de evitar un flujo completamente laminar, se le instalaron estimuladores de turbulencia en la proa de cada semicasco, de acuerdo a las recomendaciones de la ITTC, [8],



Figura 10. Estimuladores de Turbulencia.

Para las pruebas experimentales se utilizó un bote de aluminio propulsado por un motor de 6 Hp. Para hablar al modelo desde el bote se le instala un brazo mecánico rebatible que posee una base de acero y una estructura cuadrada de aluminio, de 3.2 m de longitud. El tamaño del brazo es adecuada para evitar que las olas generadas por el bote interfieran al arrastrar el modelo. Adicional a esto, se utilizan los siguientes equipos:

Tabla 8. Equipos utilizados para las pruebas

EQUIPO	CARCATERISTICAS
Batería	Marca: MOTOREX VOLTAJE: 12 volt, 700 Amp
Inversor de corriente	Marca: BLACK & DECKER Modelo: PI500BB
Fuente transformadora de	Marca: COSEL CO. LTD. Modelo: K15A-12
Tarjeta de adquisición de datos	Marca: OMEGA Modelo: OMB – DAQ - 3000
Celda de carga	Marca: AMCELLS Modelo: STL S-Type 50 lb
Medidores de velocidad	Marca: SWOFFER INSTRUMENTS, INC Modelo: 2100-STDX, 2100-LX
Anemómetro	Marca: INTELL INSTRUMENTS PLUS Modelo: AR816A
Computador portátil	Marca: HP Modelo: Mini331

Se empleó una celda de carga, cuya señal es transformado a forma digital por una tarjeta de adquisición de datos la cual es conectada a una PC portátil por medio de un cable USB. Los datos se registran a razón de 120 señales/ seg.

Se realizan las pruebas de halado del modelo en dos condiciones de carga Ligera y Cargada.

Tabla 9. Calados Según su Condición de Carga

CONDICION DE CARGA	PESO [Kg]	LCG [cm]	CALADO EN PROA [cm]	CALADO EN POPA [cm]
LIGERO	13.8	1.01	8.5	8.5
CARGADO	15.66	1.04	10	10

Después de realizar las pruebas con el modelo del semicasco a distintas velocidades, se promedian los registros de la fuerza, con los siguientes resultados:

Tabla 10. Arrastre de Semicasco, Ligera.

V. del Bote [m/s]	V. del Viento [m/s]	Fuerza [Kg]
0	0.1	0
1.05	0.95	0.183
1.14	1.34	0.399
1.2	1.2	0.367
1.3	1.4	0.537
1.45	1.55	0.715

Tabla 11. Arrastre de Semicasco, Cargada

V. del Bote [m/s]	V. del Viento [m/s]	Fuerza [Kg]
0	0	0
1.03	1.13	0.315
1.1	1.2	0.421
1.23	1.28	0.467
1.35	1.45	0.57
1.45	1.35	0.715

3.2 Prueba con el modelo del Catamarán

Para estas pruebas se emplean tres separaciones entre las líneas de crujía de los semicascos: Separación Reducida de 0.505 m, la Original de 0.561 m y una Aumentada de 0.617 m. Para ello, se construyeron tres estructuras para cada separación, formadas por dos perfiles cuadrados y una tira de madera, estas se unen mediante pernos de acero inoxidable. Para cada separación se trabajó con las dos condiciones de carga previamente definidas y a distintas velocidades.



Figura 11. Vista del Catamarán con Separación Reducida (50.5 cm).

Después de realizar las pruebas, se procede a registrar y promediar los resultados de las fuerzas, en forma similar al subcapítulo anterior, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 12. Condición Ligera con Separ. Original.

CONDICION LIGERA		
V. del Bote [m/s]	V. del Viento [m/s]	Fuerza [Kg]
0	0	0
1.05	0.95	0.521
1.14	1.04	0.49
1.26	1.16	0.627
1.32	1.32	0.792
1.47	1.37	0.826
1.53	1.73	1.053
1.76	1.46	1.232
1.94	1.84	1.35634

Tabla 13. Condición Cargada con Sep. Original.

CONDICION CARGADA		
V. del Bote [m/s]	V. del Viento [m/s]	Fuerza [Kg]
0	0	0
1.05	0.95	0.807
1.12	1.12	0.702
1.25	1.55	1.027
1.33	1.53	1.075
1.46	1.36	1.239
1.55	1.55	1.484
1.75	1.55	2.104

3.3 Resumen de Resultados Experimentales

Con los resultados obtenidos, se desarrollan curvas de tendencia polinómica de orden 2. El factor de correlación de dichas curvas varía entre 0.942 y 0.997, de manera que las curvas de tendencia puedan ser usadas con confianza. Es notorio el que en algunos resultados en condición Ligera las curvas tienen curvatura negativa, en el rango de velocidades analizadas.

Primero se analizan los resultados de resistencia de los semicascos, en las dos condiciones de carga:

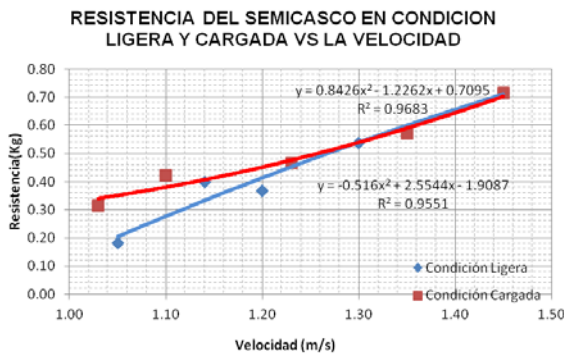


Figura 12. Resistencia del Semicasco en Condición Ligera y Cargada

Nótese que la curva de resistencia para la Condición Ligera, a partir de 1.3 m/s, prácticamente se iguala con la Cargada. Esto posiblemente se debe al hecho de que el bulbo no está completamente sumergido y aumenta la resistencia, en lugar de reducirla.

A continuación se analizan los resultados de la resistencia en las distintas condiciones de carga y separaciones entre semicascos:

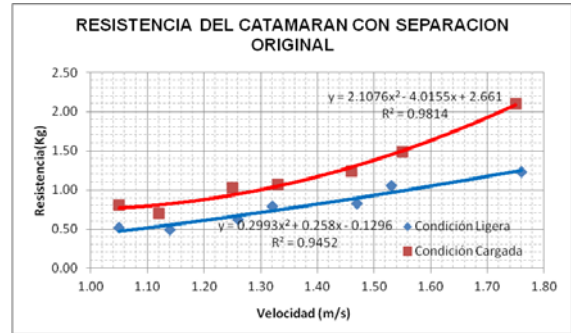


Figura 13. Resistencia en Condición Ligera y Cargada con Separación Original.

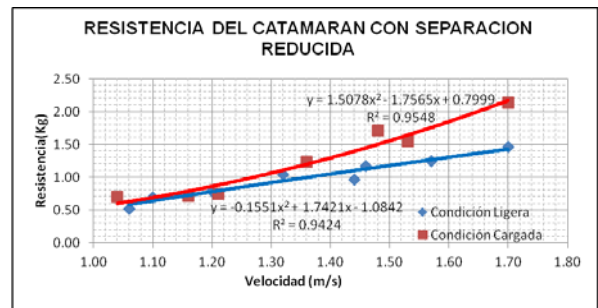


Figura 14. Resistencia en Condición Ligera y Cargada con Separación Reducida

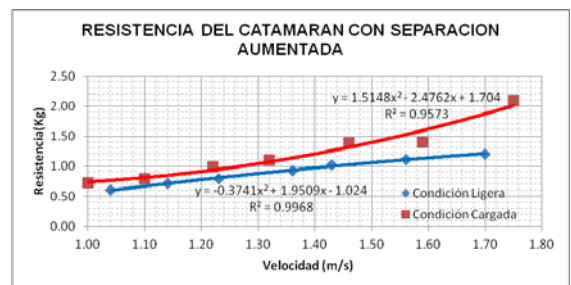


Figura 15. Resistencia en Condición Ligera y Cargada con Separación Aumentada.

A continuación se presenta una tabla de los coeficientes cuadráticos y factores de correlación para cada una de las condiciones. Es notorio que en condición ligera con separación reducida y aumentada el coeficiente cuadrático es negativo en el rango de velocidades analizado. Además el coeficiente de correlación, R², está por encima de 0.94, de manera que las curvas de tendencia se consideran aceptables.

Tabla 14. Coeficientes Cuadráticos y Factor de Correlación para las pruebas.

CATAMARAN	CONDICIÓN	COEFICIENTE CUADRATICO	R ²
SEPARACION REDUCIDA	LIGERA	-0.1551	0.9424
	CARGADA	1.5078	0.9548
SEPARACION ORIGINAL	LIGERA	0.2993	0.9452
	CARGADA	2.1076	0.9814
SEPARACION AUMENTADA	LIGERA	-0.3741	0.9968
	CARGADA	1.5148	0.9573

A continuación se presentan algunas gráficas de la influencia del viento al momento de realización de las pruebas. Se incluye una recta de referencia con pendiente 1 que representa la situación ideal, esto es en ausencia del viento. Se puede observar que los puntos no se encuentran tan alejados de la línea de referencia, lo cual indica que la fuerza del viento no influye considerablemente en los resultados obtenidos.

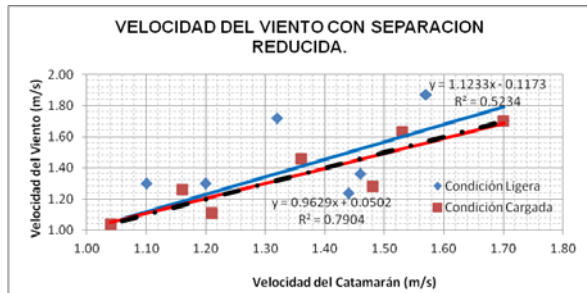


Figura 16. Velocidad del Viento en Condición Ligera y Cargada con Separación Reducida.

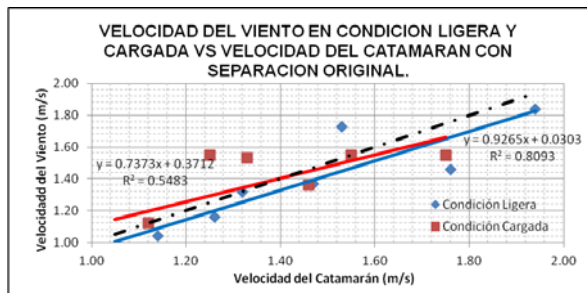


Figura 17. Velocidad del Viento en Condición Ligera y Cargada con Separación Original.

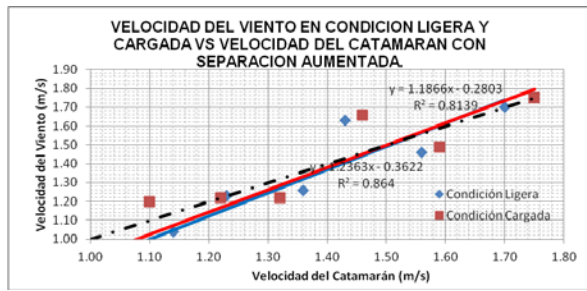


Figura 18. Velocidad del Viento en Condición Ligera y Cargada con Separación Aumentada.

4. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES Y TEÓRICOS.

4.1 Cálculo de la Interferencia Experimental entre Semicascos

Para el cálculo experimental de la Interferencia entre los trenes de olas generadas por los semicascos se tiene como datos los valores dados por las curvas de tendencia obtenidos de manera experimental. Para el cálculo se restan la Resistencia Total del catamarán con el doble de los obtenidos para un semicasco, dividido para dos. La Interferencia Experimental entre los cascos del modelo se la calcula para las condiciones de carga consideradas (Ligera y Cargada), y con varias separaciones entre los cascos: la original, una reducida y otra aumentada. De manera general para la velocidad de diseño en las dos condiciones de carga y para todas las separaciones, la Interferencia tiene un signo negativo, lo que hace que se reduzca la resistencia al avance del modelo. Los mayores valores de la Interferencia entre semicascos se dan en la separación original con -0.17 Kg , y, -0.03 Kg en condiciones Ligera y Cargada respectivamente.

La Resistencia Total de un catamarán es calculada como la suma de dos veces Resistencia Total de un semicasco más dos veces la componente de Interferencia, [5] y [6]. Por lo tanto, derivada de esa expresión, para el cálculo de la Interferencia Experimental se tiene:

$$R_W = \frac{R_{T \text{ CAT}} - 2R_T}{2}$$

donde: $R_{T \text{ cat}}$ representa la Resistencia Total de catamarán,

R_T es la Resistencia Total de un semicasco y

R_W se define como la Interferencia de un semicasco.

Con las ecuaciones de las curvas de tendencia calculadas en el capítulo anterior se obtienen los resultados de las Interferencias Experimentales:

Tabla 15 . Interferencia Experimental para cada condición y separación

V(Nudos)	Fn	Interferencia Experimental (Kg)					
		Sep. Reducida		Sep. Original		Sep. Aumentada	
		Ligera	Cargada	Ligera	Cargada	Ligera	Cargada
1,860	0,223	0,157	-0,058	0,132	0,066	0,187	0,053
1,984	0,238	0,105	-0,047	0,062	0,043	0,128	0,042
2,108	0,253	0,057	-0,037	-0,004	0,022	0,071	0,029
2,232	0,268	0,012	-0,027	-0,063	0,002	0,017	0,017
2,356	0,283	-0,029	-0,018	-0,118	-0,016	-0,034	0,003
2,480	0,298	-0,067	-0,010	-0,167	-0,032	-0,082	-0,011
2,604	0,312	-0,101	-0,003	-0,210	-0,047	-0,128	-0,026
2,728	0,327	-0,132	0,004	-0,248	-0,060	-0,171	-0,042
2,852	0,342	-0,159	0,010	-0,281	-0,071	-0,211	-0,059

A continuación se presentan las gráficas de las Interferencias entre semicascos Experimentales en las condiciones de carga analizadas (Ligera y Cargada) en función del número de Froude:

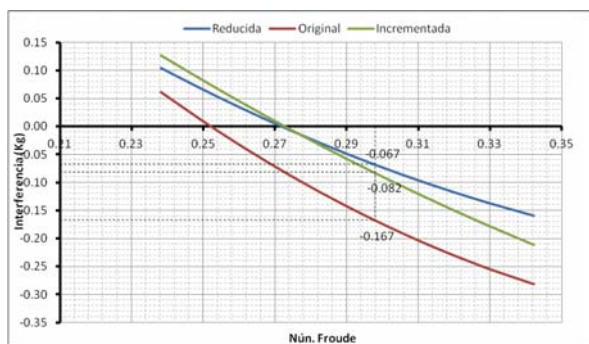


Figura 19. Interferencia en Condición Ligera.

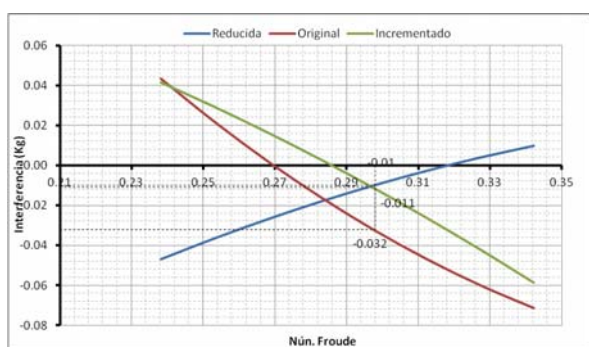


Figura 20. Interferencia Condición Cargada.

Se puede observar en las curvas para las Interferencias en la Condición Ligera que la tendencia es la de disminuir con el aumento de la velocidad, comenzando con valores positivos para terminar con negativos. Además, la separación entre semicascos Reducida provee menos porcentaje de reducción a la resistencia al avance. La separación Original y la Incrementada en cambio producen un mayor porcentaje de reducción.

En la Condición Cargada en cambio se observa que la Interferencia tiene un comportamiento diferente respecto de la Ligera. Para la separación entre semicascos Reducida se tiene una pendiente positiva, pasando de valores negativos a positivos. En cambio para las separaciones Original e Incrementada la pendiente es negativa, similar a la que se observa en la Condición Ligera. En Condición Cargada la separación con mayor reducción a la Resistencia al Avance es la Original, y la que menos aporta es la Reducida, terminando con valores positivos, por lo que en vez de reducirla, la aumenta.

Para la velocidad de diseño equivalente del modelo del catamarán (2.48 Nudos), en todas las separaciones, la Interferencia Experimental entre semicascos provee una disminución a la Resistencia Total. La que más contribuye en el decremento de la

Resistencia, es la separación de Original con valores de Interferencias de -0.17 Kg, y, -0.03 Kg, en Condición Ligera y Cargada respectivamente.

3.2 Resultados Teóricos y Experimentales.

La Interferencia es producida por los trenes de olas generados por cada uno de sus semicascos, lo que ocasiona un cambio de la Resistencia Total del catamarán. De manera teórica, se la calculó con el método de Yokoo y Tasaki, [5] y [6], utilizando para la Resistencia de un semicasco los valores calculados por el método empírico de Holtrop, [2]. Luego, experimentalmente se obtuvo la Interferencia como se explicó en el punto anterior y los valores de Resistencia se los calculó por medio de las curvas de tendencia que se obtuvieron en las pruebas de modelos en el lago de la ESPOL. Los resultados para la Condición Ligera Teórica, tienen una forma de onda pasando de valores negativos a positivos, en cambio las Interferencias Experimentales van de valores positivos a negativos. Para la Condición Cargada, los resultados Experimentales y los Teóricos tienen tendencias similares.

Yokoo y Tasaki, [5] y [6], resumen los resultados de su trabajo en una gráfica (Figura 5), la cual muestra la Interferencia como un porcentaje de la Resistencia Residual versus el número de Froude. En dicha figura se tiene como parámetro al término $2k/L$, donde $2k$ es la separación entre semicascos. Con esto se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 16. Interferencia Teórica usando el método de Yokoo y Tasaki, [5] y [6].

V(Nudos)	Fn	Sep. Reducida		Sep. Original		Sep. Aumentada	
		Ligera	Cargada	Ligera	Cargada	Ligera	Cargada
1.860	0.223	0.008	0.014	0.008	0.016	0.008	0.015
1.984	0.238	0.003	0.008	0.001	0.004	-0.001	-0.001
2.108	0.253	-0.013	-0.023	-0.012	-0.023	-0.009	-0.018
2.232	0.268	0.000	-0.003	0.002	0.000	0.004	0.005
2.356	0.283	0.015	0.026	0.014	0.024	0.012	0.021
2.480	0.298	0.015	0.029	0.012	0.023	0.009	0.018
2.604	0.312	-0.001	0.002	-0.005	-0.005	-0.006	-0.009
2.728	0.327	-0.026	-0.045	-0.028	-0.052	-0.024	-0.045
2.852	0.342	-0.027	-0.051	-0.023	-0.047	-0.014	-0.031
2.976	0.357	-0.007	-0.018	-0.002	-0.009	0.006	0.007
3.100	0.372	0.019	0.030	0.023	0.037	0.025	0.043
3.224	0.387	0.043	0.072	0.043	0.074	0.040	0.070
3.348	0.402	0.064	0.106	0.061	0.103	0.055	0.093
3.472	0.417	0.084	0.139	0.078	0.131	0.067	0.114
3.596	0.432	0.102	0.167	0.091	0.153	0.075	0.127
3.720	0.446	0.113	0.184	0.098	0.165	0.079	0.134

Experimentalmente, se desarrollaron pruebas de modelos en Condiciones de Carga (Ligera y Cargada) y con separaciones entre semicascos Reducida, Original y Aumentada. Con los resultados se definieron curvas de tendencia para la Resistencia Total al Avance para un semicasco y para el catamarán. Con estos valores, la Interferencia Experimental se calcula por medio de la diferencia entre la Resistencia Total del catamarán y el doble de la Resistencia Total de un semicasco, dividido para dos. Los resultados obtenidos son:

Tabla 17. Interferencia Experimental

V(Nudos)	Fn	Interferencia Experimental (Kg)					
		Sep. Reducida		Sep. Original		Sep. Aumentada	
		Ligera	Cargada	Ligera	Cargada	Ligera	Cargada
1,860	0,223	0,157	-0,058	0,132	0,066	0,187	0,053
1,984	0,238	0,105	-0,047	0,062	0,043	0,128	0,042
2,108	0,253	0,057	-0,037	-0,004	0,022	0,071	0,029
2,232	0,268	0,012	-0,027	-0,063	0,002	0,017	0,017
2,356	0,283	-0,029	-0,018	-0,118	-0,016	-0,034	0,003
2,480	0,298	-0,067	-0,010	-0,167	-0,032	-0,082	-0,011
2,604	0,312	-0,101	-0,003	-0,210	-0,047	-0,128	-0,026
2,728	0,327	-0,132	0,004	-0,248	-0,060	-0,171	-0,042
2,852	0,342	-0,159	0,010	-0,281	-0,071	-0,211	-0,059

A continuación se muestran las gráficas de la Interferencia entre semicascos, Experimental y Teórica versus el número de Froude:

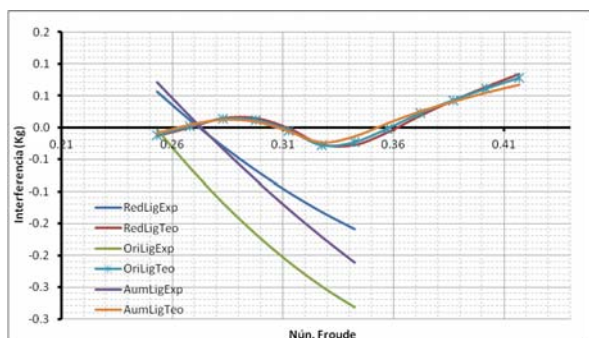


Figura 21. Interferencias Experimental y Teórica para la Condición de Carga Ligera.

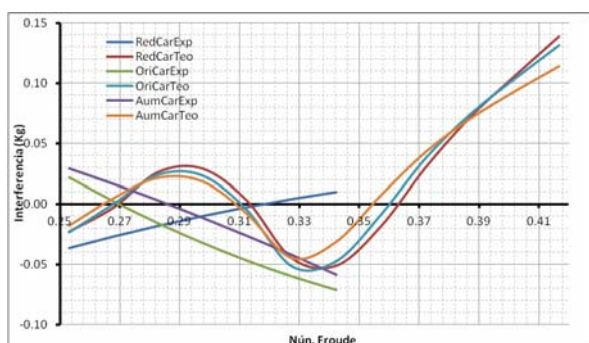


Figura 22. Interferencias Experimentales y Teóricas para la Condición Cargada.

Para la Condición Ligera, las Interferencias Teóricas tienen una forma de onda pasando de valores negativos a positivos. En cambio las Interferencias Experimentales van de valores positivos a negativos. Se puede observar que las Interferencias Teóricas y Experimentales tienen tendencias muy distintas, las teóricas presentan tres cambios de signos, mientras que las Experimentales se ve como que aun no alcanzan el valor máximo del seno de la onda con sus valores negativos.

Para la Condición Cargada, la tendencia de las Interferencias Teóricas tiene una forma armónica entre valores negativos y positivos terminando con una predisposición de aumentar los valores positivos. En cambio las Interferencias Experimentales tienden a

reducirse, únicamente con valores negativos, excepto en la separación entre semicascos Reducida que tiene sus valores positivos. Contrariamente en la Condición Ligera, se ve una tendencia similar entre separaciones, aun cuando los resultados Experimentales no tienen cambios de signos como los Teóricos.

De los resultados obtenidos, la menor Interferencia Teórica a la velocidad equivalente de diseño (2.48 nudos), se presenta con la Separación Incrementada entre semicascos (0.617 m) la cual es 0.08 Kg en condición Ligera y 0.18 Kg en condición Cargada. En cambio, la menor Interferencia Experimental a la velocidad de diseño, se presenta con la Separación Original entre semicascos (0.561 m) la que da -0.167 Kg en condición Ligera y -0.032 Kg en condición Cargada.

3.3 Cálculo de la interferencia del prototipo.

Igualando los números de Froude del Modelo y del Prototipo, se obtiene las velocidades correspondientes para el buque Prototipo. Además dado que, la Interferencia es parte de la Componente Residual, depende únicamente de el número de Froude, por lo que, se puede determinar los coeficientes de Interferencia, por medio de la Ley de Froude, [9]. Entonces para un mismo número de Froude, los coeficientes de Resistencia por Interferencia entre semicascos, para el modelo y el prototipo se igualan y se obtiene:

$$R_{w_p} = R_{w_m} \lambda^3$$

donde, R_{w_m} es la Interferencia del modelo, R_{w_p} es la Interferencia del buque prototipo y λ es la razón de escala entre modelo y prototipo (16.25).

A continuación se presentan los resultados de la Interferencia entre semicascos para el buque Prototipo con todas las separaciones y condiciones de cargas:

Tabla 18. Interferencia para el Buque Prototipo

V(Nudos)	Fn	Interferencia del Buque Prototipo (Kg)					
		Reducida		Original		Aumentada	
		Ligera	Cargada	Ligera	Cargada	Ligera	Cargada
8.50	0.253	242.987	-156.785	-15.324	93.815	305.437	126.251
9.00	0.268	50.821	-115.565	-271.763	9.137	74.936	71.117
9.50	0.283	-126.124	-77.583	-505.048	-68.306	-144.166	12.867
10.00	0.298	-287.846	-42.837	-715.178	-138.514	-351.870	-48.497
10.50	0.312	-434.347	-11.328	-902.152	-201.488	-548.176	-112.975
11.00	0.327	-565.625	16.944	-1065.971	-257.227	-733.082	-180.568
11.50	0.342	-681.682	41.979	-1206.635	-305.731	-906.590	-251.276

A continuación se muestran las gráficas de la Interferencia entre semicascos, del buque Prototipo versus el número de Froude:

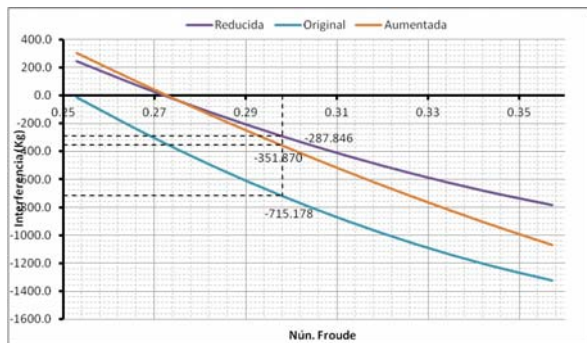


Figura 23. Interferencia del Buque Prototipo para la Condición Ligera.

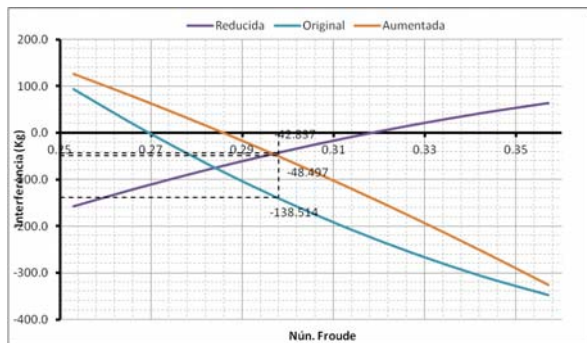


Figura 24. Interferencia del Buque Prototipo para la Condición Cargado.

Para la velocidad de diseño en todas las separaciones, la Interferencia entre semicascos del buque Prototipo reduce la Resistencia Total. La que más contribuye en el decremento de la Resistencia, es la separación de original con una interferencia de -715.18 Kg, y, -138.51 Kg en Condiciones Ligera y Cargada respectivamente.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo, la Interferencia por olas generadas entre los semicascos del modelo del catamarán de diseño nacional “Cormorant Evolution“ de 32.5 metros de eslora, se calcula teóricamente por el método de Yokoo y Tasaki. Luego experimentalmente se determina dicho parámetro por medio de pruebas de arrastre de un modelo de 2.0 metros de eslora desde un bote en un lago. Finalmente se concluye lo siguiente:

1. El método de Yokoo y Tasaki para estimar la Interferencia de la Resistencia por olas generadas entre semicascos de un catamarán es un método muy sencillo de aplicación. Analiza el flujo potencial usando una distribución de fuentes y sumideros, es decir toma al fluido como ideal, lo que incluye una simplificación al problema. Pero lo que hace sencilla su aplicación, es que aun si

se desconoce la Resistencia Residual, permite estimar la Interferencia de una manera cuantitativa utilizando tan solo tres variables básicas: el número de Froude, la relación entre la separación entre semicascos y la eslora, y, la velocidad.

2. La forma de construir el modelo a escala para la realización de las pruebas, resultó exitosa, aun cuando las líneas de formas tienen mucha curvatura en la zona de proa. Se elaboraron cuerdas en plancha de plywood y luego se forró la estructura con láminas de fibra de vidrio; en la zona del bulbo de la proa se procedió a utilizar macilla para posteriormente lijarlas para darle la forma deseada. Cabe mencionar que a pesar de que el modelo tenía bulbo la construcción no resultó complicada.
3. Ante la ausencia de un tanque de pruebas, el arrastrar el modelo desde un bote con un brazo lateral resultó bastante eficiente. El motor fueraborda del bote, dio libertad en el rango de velocidad de las pruebas. Sin embargo, la prueba tiene potenciales limitantes, uno de ellos es la influencia del viento; por eso con un anemómetro se la midió y se llegó a la conclusión que en este caso no afectó a los resultados. Otro inconveniente es el tratar que los movimientos de la lancha no afecten el movimiento del modelo. Para verificar cuanto afectaba esto, se observó el Coeficiente de Variación de cada registro de la celda de carga y al ver que fue relativamente bajo se pudo validar los datos.
4. Los resultados teóricos de la Interferencia de la Resistencia entre semicascos obtenidos con el método de Yokoo y Tasaki presentan una variación similar a una función armónica con el número de Froude. Esto es se tienen regiones con signo negativo, luego cambia a positivo y viceversa. En cambio, los resultados experimentales muestran un comportamiento decreciente o creciente, pasando de positivo a negativo o viceversa. Esto parece razonable porque la viscosidad en los fluidos reales tiende a producir ese efecto de amortiguar las variaciones.
5. De los resultados experimentales con el modelo, la menor Interferencia entre los semicascos a la velocidad equivalente de diseño (2.48 nudos), se presenta con la Separación Original entre semicascos (0.561 m). Se registra una reducción de la Resistencia Total al avance de -0.167 Kg en condición Ligera y -0.032 Kg en condición Cargada. También hay que resaltar, que para la Condición Cargada con una separación de semicascos Reducida, las Interferencias aumentaban la Resistencia Total del catamarán. Entonces, en función de los resultados

experimentales se concluye, que para el catamarán de diseño ecuatoriano “Cormorant Evolution“, se eligió una correcta separación entre semicascos.

6. Referencias

- [1]. Astillero y Marina Botto Cía. Ltda, Memoria Técnica del Catamarán Cormorant Evolution, 2010.
- [2]. HOLTROP J. y MENNEN G., “Approximate Power Prediction Method”, 1984.
- [3]. ARAUZ D. y VARGAS A., Programa de Holtrop, FIMCBOR, ESPOL, 2010.
- [4]. VAN MANEN J. D. y VAN OOSSANEN P., Resistance, Capítulo 5 en el PNA Vol II editado por Lewis G. SNAME 1988.
- [5]. YOKOO K. y TASAKI Ryo, Reporte Técnico No1: “On the twin-hull ship”, University of Michigan, 1951.
- [6]. YOKOO K. y TASAKI Ryo, Technical Report No2: “On the twin-hull ship”, University of Michigan, 1951.
- [7]. ALAEZ JOSE A., Seminario “Embarcaciones Rápidas de Poco Desplazamiento”, Colegio de Ingenieros Navales del Ecuador.
- [8]. INTERNACIONAL TOWING TANK CONFERENCE, “Recommended, Procedures and Guidelines of Model Manufacture Ship Models”, 2002.