

# **Presión por Impacto Hidrodinámico en una Lancha Prototipo de 26 m con Pruebas de Modelo en Caída Libre**

**José R. Marín L.**

Profesor, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, jrmarin@espol.edu.ec

**Luis E. Sánchez L.**

Ingeniero Naval, Verificador de Proyectos, ASTINAVE, Guayaquil, Ecuador, lesanchez@astinave.com.ec

## **ABSTRACT**

Using drop tests with a ship model, the pressure in the bottom of a 26 meter long and 27 knot prototype coast guard craft was analyzed. First it was estimated the dynamic pressure, using ABS rules for planing craft. Tests were conducted using a wooden 1.70 m long model of the ship, using an accelerometer, and three locally built pressure bells to register acceleration and pressure, respectively; orifices drilled in the bottom of the model allowed to register pressure in three transverse position simultaneously. Tests were developed in a 6x3.8x1.0 m pool, and three loading conditions were considered for dropping the model from three heights, measuring pressure in three longitudinal positions. Applying Buckingham theorem, corresponding pressure values were obtained for the prototype, whose maximum value is 44% below those estimated using ABS formulations. Longitudinal distribution of maximum pressure resulted very uniform in the whole length, and it was confirmed that the region where maximum values arise, is about half of the bottom semiwidth.

**Keywords:** Drop test, Hydrodynamic pressure

## **RESUMEN**

Utilizando pruebas en caída libre ("drop test") de un modelo, se analizó la presión en el fondo de una embarcación prototipo de vigilancia guardacostas de 26 m de eslora y que alcanza una velocidad de 27 nudos. Se estimó primero la presión dinámica, usando las reglas de ABS para embarcaciones planeadoras. Las pruebas se realizaron con un modelo del buque de 1.70 m de eslora, construido en madera, con un acelerómetro, y, tres campanas de construcción local que incluyen un extensómetro, para registrar la aceleración y presión, respectivamente; orificios taladrados en el fondo del modelo permitieron registrar la presión en 3 posiciones transversales simultáneamente. Las pruebas se realizaron en una piscina de 6x3.8x1.0 m, y se consideraron 3 condiciones de carga del modelo y 3 alturas de caída, con medición de la presión en 3 posiciones longitudinales. Aplicando el Teorema de Buckingham se obtuvieron los correspondientes valores de presión para el prototipo, con un valor máximo 44% por debajo de los estimados según ABS. La distribución longitudinal de presión máxima resultó bastante uniforme en toda la eslora, y se confirmó que la zona donde se presentan los valores máximos, se encuentra alrededor de la mitad de la semimanga del fondo.

**Palabras claves:** Prueba de caída libre, Presión hidrodinámica

## **1. INTRODUCCIÓN**

Una embarcación de alta velocidad puede levantarse fuera del agua generándose un impacto en su reingreso. El resultado de esta acción es una presión dinámica en el fondo (algunas veces denominada "slamming" en Inglés), la cual depende del cuadrado de la velocidad relativa, y por tanto de mucha importancia en estas embarcaciones, llamadas planeadoras. En el medio local ecuatoriano se han reportado casos de embarcaciones planeadoras que

presentan fallas en su estructura del fondo, (Marín, 2010). De manera que al pretender desarrollar el proyecto futuro de embarcaciones para patrullaje guardacostas es recomendable desarrollar pruebas experimentales para analizar la presión en el fondo de una embarcación cuando impacta en la superficie del mar.

La presión Dinámica en el fondo de un bote planeador puede ser calculada por varios métodos, por ejemplo los trabajos clásicos semi empíricos (Heller y Jasper, 1960), y (Spencer, 1972); también se pueden usar otros métodos desarrollados por sociedades de clasificación, (ABS, 2012), ó, mediante métodos numéricos. Algunos investigadores han compartido también los resultados de sus trabajos experimentales, por ejemplo, (Ochi, 1970) y (Lee et al, 2010), entre muchos otros. Las formulaciones de sociedades de clasificación son de sencilla aplicación y proveen un valor de presión para seleccionar el espesor de un panel de planchaje del fondo. La simplicidad de estas formulaciones desarrolladas para facilitar su aplicación directa, tienen incorporados los efectos de la variación transversal y temporal de la presión, en una sección dada. Esto genera siempre inquietud, cuando no se entiende completamente el fenómeno, y limita la confianza en los resultados.

En la etapa de diseño de una lancha rápida, el estimar el comportamiento de la presión de golpe hidrodinámico, permite alcanzar un diseño estructural adecuado. Además, el analizar los valores máximos temporales de la curva de Presión permitirá utilizar de manera adecuada la distribución equivalente estática, estimada por las sociedades de clasificación. Para perfeccionarnos en la estimación del parámetro mencionado, la forma recomendable de hacerlo, debe ser experimental. Una forma simple de lograrlo es realizando pruebas de caída libre, de un modelo sobre el agua, registrando la variación de presión cuando impacta el agua, teniendo especial cuidado de registrar los parámetros con la razón adecuada para captar los detalles del fenómeno. Específicamente en este trabajo se pretende investigar la presión por impacto Hidrodinámico en el fondo de una lancha guardacostas prototipo, con pruebas de caída libre del modelo de dicha embarcación, (Sánchez, 2014).

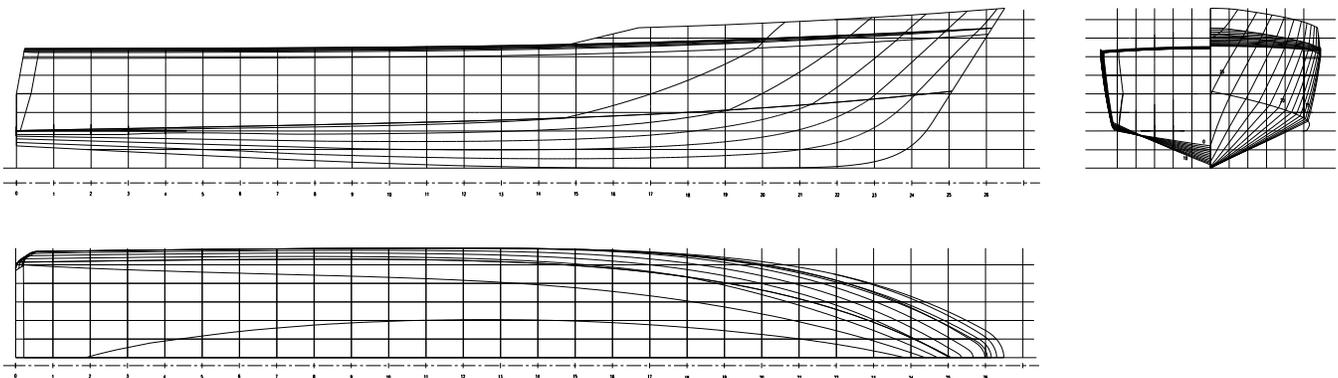
## 2. DESCRIPCIÓN DE LA LANCHA PLANEADORA PROTOTIPO

La embarcación planeadora que será analizada en este estudio proveerá de vigilancia Guardacostas, tiene 25.76 m de eslora y se espera que alcance 26.6 nudos de velocidad. Se empleó el modelo de una lancha planeadora disponible en el Laboratorio de Ingeniería Naval de la ESPOL, y que sirvió para generar las formas del prototipo. El factor de escala es de 15.15. A continuación se presentan las características principales de la embarcación:

**Tabla 1: Características Principales del Prototipo.**

Eslora Total, m	25.76
Manga, m	5.89
Manga a la china en espejo, m	5.34
Puntal, m	4.18

En la Figura 1 se presentan las líneas de formas, notándose la alta variación del ángulo de astilla muerta.



**Figura 1: Líneas de Formas del prototipo**

La embarcación prototipo se considera de tipo planeadora. Con una velocidad de 27 nudos, Manga en el espejo, de 5.34 m, y, Desplazamiento de 74 toneladas, se confirma que opera en dicho régimen. Tanto el coeficiente de velocidad,  $C_v = v/\sqrt{gB_T} \geq 1.5$ , como el número de Froude,  $F_{nv} = v/\sqrt{g\nabla^{1/3}} \geq 2.0$ , satisfacen los requerimientos. Las condiciones de carga que se consideran en este estudio se describen en la Tabla 2:

**Tabla 2: Condiciones de carga**

Parámetro	Cond 1	Cond 2	Cond 3
Descripción de Consumibles	10%	50%	98%
Desplazamiento, ton	74.2	81.0	89.7
Eslora Flotación, m	24.0	24.7	24.8
Manga, m	5.37	5.40	5.43
Calado Medio, m	1.40	1.47	1.53
Trimado, +Pp, m	-0.09	-0.13	-0.28

### 3. PRESIÓN EN EL FONDO SEGÚN ABS

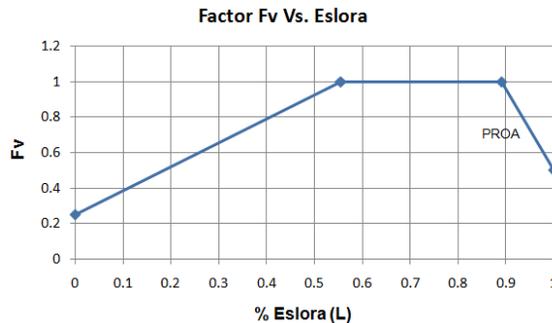
Para calcular la distribución de presión por impacto hidrodinámico en el fondo de la embarcación prototipo se emplearon las ecuaciones (1) y (2) de las reglas de la sociedad clasificadora American Bureau of Shipping, para embarcaciones planeadoras, (ABS, 2012). La primera produce el valor de la presión en el CG del buque, mientras que la segunda permite calcularla en cualquier posición longitudinal, usando el factor  $F_v$ :

$$p_{bcg} = \frac{N_I \Delta}{L_w B_w} [I + n_{cg}] F_D, [KN / m^2] \quad (1)$$

$$p_{bxx} = \frac{N_I \Delta}{L_w B_w} [I + n_{cg}] F_D F_v, [KN / m^2] \quad (2)$$

donde:  $L_w$ : eslora en la línea de agua,  $B_w$ : Manga máxima en línea de agua,  $\Delta$ : Desplazamiento en línea de agua,  $V$ , Velocidad de diseño [nudos],  $\tau$ , Trimado en operación a velocidad  $V$ , y,  $\beta_{cg}$ , Ángulo de astilla muerta, al centro de gravedad,

El factor de área,  $F_D$ , depende de la separación entre refuerzos, y para este trabajo se tomó el máximo valor, de 0.85. El factor de distribución de la aceleración vertical,  $F_v$ , varía a lo largo de la eslora, como se muestra en la Figura 2; los valores máximos se encuentran entre 0.55 a 0.89 L desde Popa.



**Figura 2: Distribución del Factor  $F_v$ , ABS**

A continuación se presenta una tabla de resumen con los datos necesarios para el cálculo de la presión dinámica en el fondo, para cada condición de carga; el ángulo de trimado fue asumido.

**Tabla 3: Datos para el cálculo de presión dinámica.**

Parámetro	Cond 1	Cond 2	Cond 3
Desplaz., ton	74.19	81.00	89.67
Calado, m	1.4	1.47	1.527
Áng. Trimado, °	4		

La aceleración vertical del centro de gravedad de la embarcación, denotada como  $n_{cg}$ , en la formulación de ABS es el mayor de las dos siguientes expresiones, en g's:

$$n_{cg} = N_2 \left[ \frac{12h_{1/3}}{B_w} + 1 \right] \tau [50 - \beta_{cg}] \frac{V^2 B_w^2}{\Delta}, [g's] \quad (3)$$

$$n_{cg} = 1.39 + k_n \frac{V}{\sqrt{L}}, [g's] \quad (4)$$

donde  $h_{1/3}$  es la Altura significativa de la Ola, tomada como de 4 m, de acuerdo a la condición de operación.

**Tabla 4: Aceleración CG y presión estimados para cada condición de Carga**

Parámetro	Cond 1	Cond 2	Cond 3
Ac.Vert. CG, %g, (1)	2.14	1.97	1.79
Ac.Vert., CG, %g, (2)	2.78	2.76	2.76
$p_{bcg}$ , kN/m <sup>2</sup>	160.6	160.2	165.5

## 4. PRUEBAS EXPERIMENTALES

### 4.1 Descripción del modelo y los equipos.

El modelo de buque empleado para las pruebas de 1.70 m de longitud fue tomado del Laboratorio de Ingeniería Naval de la ESPOL y tiene una razón de escala de 15.15 respecto del prototipo. En la Figura 3 se muestra el modelo suspendido que se usó para las pruebas, con una estructura metálica emperrada a este, pesando en conjunto 21.29 kg, equivalente a la condición de carga Ligera del prototipo. Para la segunda condición, se añadieron pesos de 1 kg, a 26 cm a Proa y Popa, y para la tercera, se sumaron dos pesos de 1.25 kg.



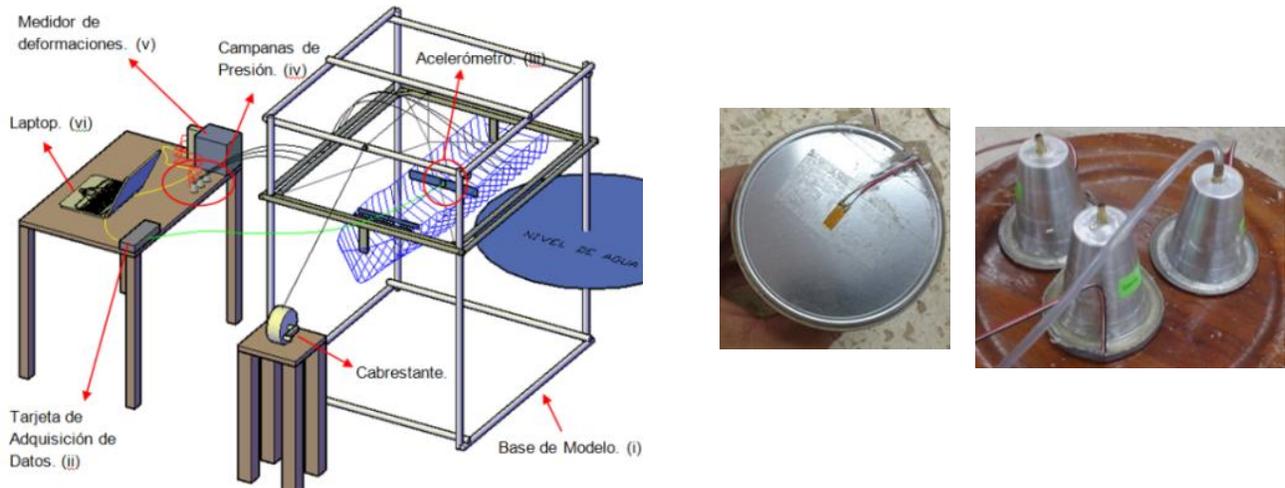
**Figura 3: Modelo usado para las pruebas.**

En la Tabla 5, se resumen las características de las condiciones de carga del modelo.

**Tabla 5: Condiciones de carga del modelo.**

Cond.	Desplazam., Kg	Calado medio, cm
1	21.29	9.17
2	23.29	9.61
3	25.79	10.01

Los equipos utilizados para las pruebas de caída libre y registro de datos, se muestran en la Figura 4. Se usó un acelerómetro Brüel&Kjaer modelo 4370 con sensibilidad de 80 mV/g, que enviaba su señal a una tarjeta de Adquisición de datos, Omega, modelo OMB-DAQ-3000. El acelerómetro, para medir en dirección vertical, fue ubicado 10.4 cm a popa del CG del modelo, y se registran las señales digitales en un computador. Para registrar las presiones se construyeron localmente tres campanas, a las que se les instaló un extensómetro (“strain gage”), cuya señal se registraba a través de un medidor de Deformaciones, marca InstruNet. Las campanas de presión se acoplan con mangueras de 1/8” a orificios en el fondo del modelo y la señal es transmitida al computador, mediante el medidor de deformaciones.

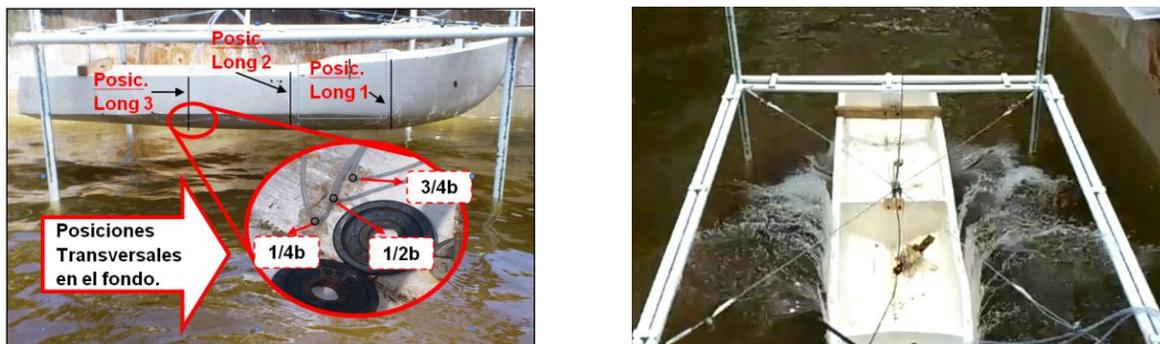


**Figura 4: Esquema del conjunto y detalle de las campanas de presión.**

#### 4.2 Proceso de las Pruebas.

Las pruebas de caída libre del modelo del buque fueron realizadas en una piscina de 6x3.8x1.0 m. La calibración de las campanas de presión se la realizó antes de cada prueba, registrando la deformación unitaria que se produce al ascender el modelo con intervalos de 10 cm, y, descenderlo hasta su posición inicial. Luego, se levanta el modelo hasta la altura de caída deseada (15, 20, 25 cm), que corresponde a la distancia entre la quilla y la superficie del agua, y se corta el hilo que suspende el modelo. Los datos de presión y aceleración se almacenan con razones de 3900 y 494 registros/seg (scan/sec), respectivamente.

Se realizaron 8 veces cada prueba, para confirmar la repetitividad de los valores registrados. Se registran valores de presión para 3 posiciones longitudinales ubicadas a 47, 93, 134 cm, medidos desde popa (véase la Figura 5). En el fondo del modelo, en cada posición longitudinal se preparan 3 orificios separados transversalmente 3 cm, entre sí y desde la quilla, en los que se adaptan mangueras de 1/8” que llevan la señal a las campanas de presión.



**Figura 5: Posiciones longitudinales y transversales de medición, e impacto en una prueba.**

### 4.3 Procesamiento de la Información.

Los registros obtenidos durante las pruebas se filtran (suavizan) usando rangos de integración de 0.01 y 0.001 segundos para la presión y la aceleración, respectivamente, lo que implica un promedio por cada 5 puntos en ambos casos. Este proceso permite disponer 445 y 390 puntos en el rango de interés donde se forman los picos de presión y aceleración, respectivamente.

La variación de la presión registrada en las pruebas inicia en cero, luego disminuye conforme desciende el modelo hasta impactar el agua, cuando se incrementa muy rápidamente hasta un máximo para luego volver a disminuir. El valor de presión máximo reportado en este trabajo, es la diferencia entre los valores máximo y mínimo luego del instante de contacto con el agua. En la figura 6 se presentan las señales de presión de los tres sensores (Prueba 13, Condición 2, altura de caída =20 cm).

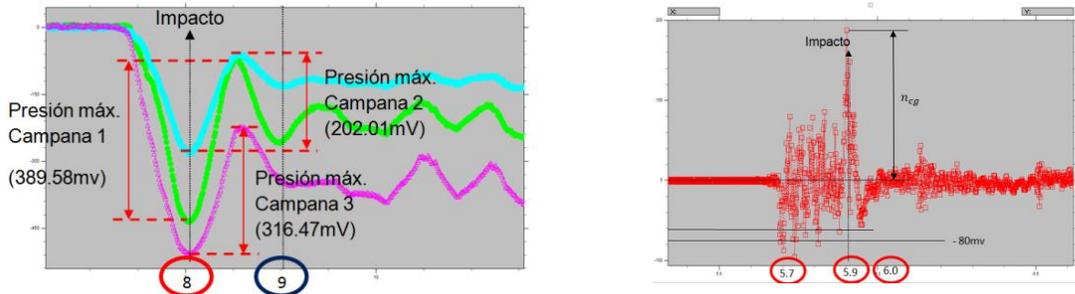


Figura 6: Curvas de presión y aceleración filtradas.

La aceleración registrada inicia en cero, se hace negativa en un valor cercano a la aceleración de la gravedad para luego incrementar hasta un máximo, luego de que el modelo golpea el agua. A pesar de la filtración, no se pudo evitar la presencia de ruido electrónico, véase la figura 6 de la derecha, que muestra una curva de aceleración filtrada, en milivoltios ( $1g = 80mV$ ). Se aprecia una zona entre 5.7 y 5.9 segundos, donde se presenta un valor negativo, en el orden de la aceleración de la gravedad, cuando el modelo cae libremente. A partir de allí se incrementa rápidamente la aceleración, luego de que el modelo ha impactado el agua, con una duración alrededor de 0.1 s, correspondiente a la suma  $1 + n_{cg}$ . El valor reportado en este trabajo es el máximo ( $n_{cg}$ ), medido desde la referencia, es decir, no se incluye la aceleración de la gravedad. Finalmente dado que cada prueba se repitió 8 veces, se descartan los resultados que tienen una diferencia mayor al 20%, respecto del promedio. A continuación en la Tabla 6 se presenta el resumen de los valores de presión y aceleración obtenidos en las pruebas, por condición de carga y altura.

Tabla 6: Resumen de presiones y aceleraciones experimentales

Presión [N/cm²]. Posición Longitudinal de medición 3 (Popa)									
Posición Transversal. %b	Condición 1 (ligero)			Condición 2 (servicio)			Condición 3 (cargado)		
	H=15cm	H=20cm	H=25cm	H=15cm	H=20cm	H=25cm	H=15cm	H=20cm	H=25cm
0.25	0.08	0.14	0.65	0.49	0.58	0.55	0.33	0.71	0.76
0.5	0.25	0.52	1.09	0.65	0.71	0.86	0.48	0.90	0.95
0.75	0.08	0.15	0.22	0.15	0.09	0.24	0.15	0.25	0.22
Aceleración [g's]	1.85	2.41	2.99	1.88	2.53	2.98	2.39	2.97	2.95
Presión [N/cm²]. Posición Longitudinal de medición 2 (Sección Media)									
Posición Transversal. %b	Condición 1 (ligero)			Condición 2 (servicio)			Condición 3 (cargado)		
	H=15cm	H=20cm	H=25cm	H=15cm	H=20cm	H=25cm	H=15cm	H=20cm	H=25cm
0.25	0.58	0.56	0.69	0.42	0.44	0.62	0.42	0.51	0.62
0.5	0.67	0.68	0.76	0.51	0.61	0.72	0.61	0.79	0.88
0.75	0.31	0.32	0.36	0.29	0.41	0.52	0.30	0.44	0.56
Aceleración [g's]	1.85	1.98	2.06	1.56	2.06	2.61	1.96	2.30	2.90
Presión [N/cm²]. Posición Longitudinal de medición 1 (Proa)									
Posición Transversal. %b	Condición 1 (ligero)			Condición 2 (servicio)			Condición 3 (cargado)		
	H=15cm	H=20cm	H=25cm	H=15cm	H=20cm	H=25cm	H=15cm	H=20cm	H=25cm
0.25	0.52	0.56	0.59	0.48	0.53	0.62	0.29	0.34	0.43
0.5	0.62	0.63	0.64	0.52	0.55	0.70	0.38	0.54	0.69
0.75	0.37	0.37	0.33	0.44	0.47	0.56	0.20	0.37	0.30
Aceleración [g's]	1.48	1.77	2.37	1.38	1.87	2.09	1.49	2.46	2.74

Los valores de la primera columna indican la posición transversal en el fondo como un porcentaje de la semimanga,  $b$ . Cada columna presenta las mediciones para una condición de carga y una altura de caída específica. El grupo de presiones se encuentra separado por cada posición longitudinal y al final de cada grupo se muestra la media de la aceleración (%g) para cada condición y altura.

#### 4.4 Análisis de resultados.

##### i) Variación transversal de la Presión.

El resumen de la presión máxima en la posición longitudinal de medición 1 (Proa), se grafica en la figura 8. Las curvas están identificadas por condición de carga ( $C_i$ ) y altura de caída ( $H_{ij}$ ). Se nota un valor máximo en un cuarto del fondo, que se reduce hacia quilla y hacia la china.

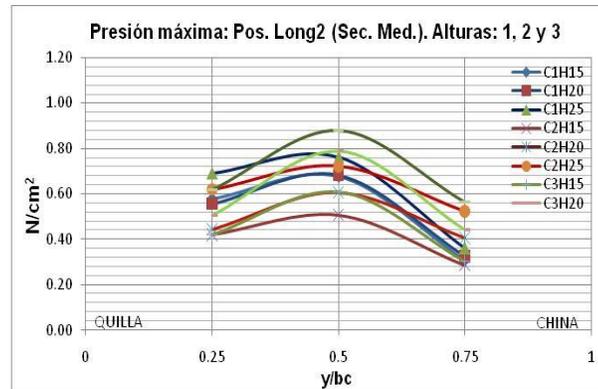


Figura 8: Distribución lateral de presión

ii) Relación aceleración vertical del CG experimental-formulación de ABS. En la Figura 9 se presentan los valores de aceleración vertical máxima, experimentales y estimados según ABS, en función de la altura de caída en las pruebas experimentales. Se nota que las aceleraciones obtenidas en el modelo, se encuentran en el rango del valor de la aceleración calculados con las formulaciones de ABS.

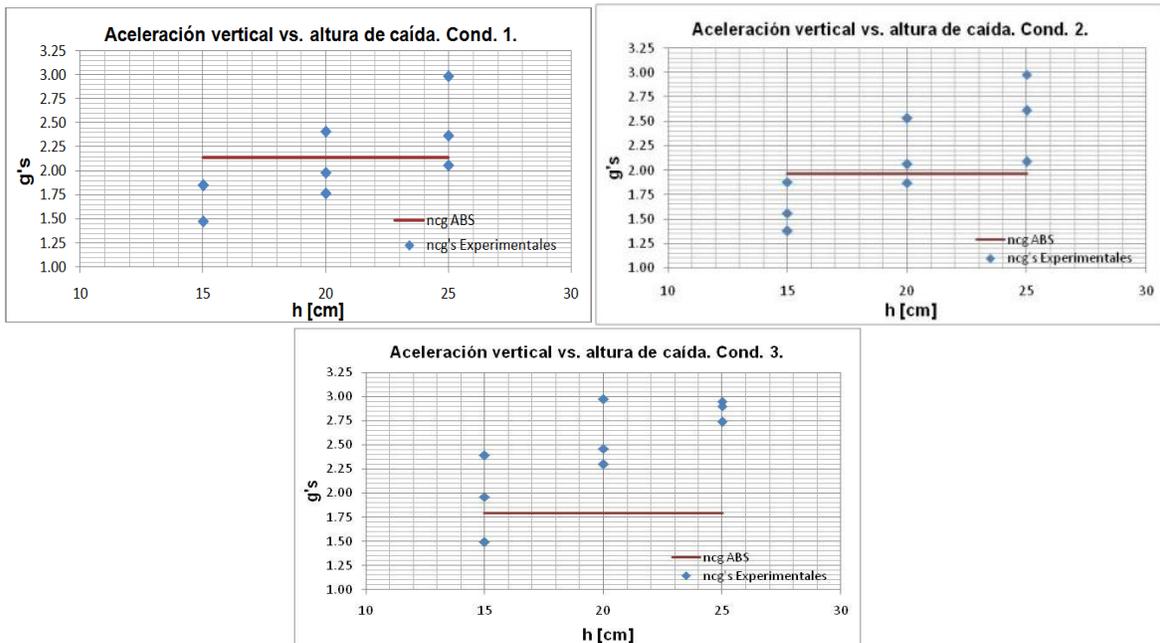


Figura 9: Aceleración vertical en función de la altura de caída

## 5. PRESIÓN PARA EL PROTOTIPO

### 5.1 Análisis Dimensional para la Presión Dinámica.

Para aplicar el teorema de Buckingham para determinar las relaciones de similitud, las variables involucradas en el fenómeno son 5: Velocidad,  $V$  [ $LT^{-1}$ ], Densidad,  $\rho$  [ $ML^{-3}$ ], presión,  $p$ , [ $ML^{-1}T^{-2}$ ], Eslora,  $L_p$  [ $L$ ], y, Gravedad,  $g$  [ $LT^{-2}$ ]. Con Masa, Longitud y Tiempo, como dimensiones fundamentales se definen 2 números adimensionales, de Euler y de Froude:

$$Eu = \frac{p}{\rho v^2}, \quad Fn = \frac{v^2}{gL} \quad (5)$$

Entonces, si entre modelo y prototipo se tiene igualdad en número de Froude, el correspondiente número de Euler será igual entre ellos. En el presente caso no se realizan pruebas con el modelo avanzando con velocidad, sino que se asume que el modelo avanzará con una velocidad equivalente para alcanzar igualdad de número de Froude. Las pruebas dejan caer el modelo desde diferentes alturas, pretendiendo alcanzar aceleraciones equivalentes a las del prototipo.

### 5.2 Presión por Impacto Hidrodinámico en el prototipo.

Las pruebas de caída libre del modelo no incluyen movimiento de avance en olas. La velocidad que está implícita en las pruebas corresponde a la de caída del modelo, la cual puede ser deducida a partir de las curvas de aceleración vertical obtenidas durante las pruebas. En los cálculos que se desarrollan, se asume que con el modelo avanzando con la velocidad equivalente, se obtendrá aceleraciones resultantes debidas a la presión hidrodinámica registrada. Para el mismo número de Froude se obtiene la relación de velocidades, de la siguiente manera, donde  $v_p$  y  $v_m$  son las velocidades del prototipo y modelo, y, es  $\lambda$  la razón de escala:

$$\frac{v_p^2}{v_m^2} = \lambda \quad (6)$$

Habiendo asumido el mismo número de Froude entre modelo y prototipo, el correspondiente Euler, permite estimar la presión que actuaría en el prototipo,  $p_p$ , a partir de las registradas en el modelo,  $p_m$ :

$$p_p = \lambda p_m \quad (7)$$

Con esta expresión se calculan los valores de presión para el prototipo, considerando que la relación entre densidades es cercana a la unidad. Para este fin, se consideran los resultados por grupos de aceleración y presión, por condición de carga y posición longitudinal del casco. Con la información promediada de cada prueba del modelo, Tabla 6, extrapolada para el prototipo, se establece una relación lineal entre la aceleración vertical y la presión máxima en el fondo. Luego, con la aceleración del centro de gravedad, estimada según la formulación de ABS, se obtiene la presión correspondiente a la aceleración esperada. Estos valores de presión, corresponden al que se alcanza en la mitad de la semimanga del fondo de la embarcación prototipo.

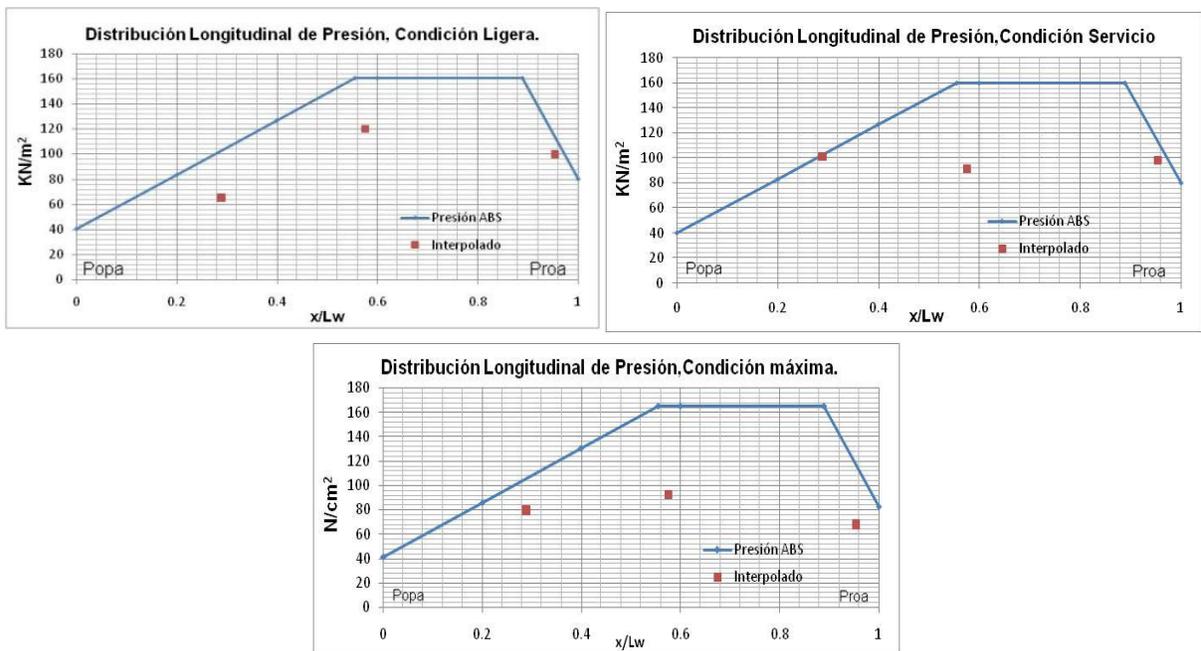
### 5.3 Resumen de valores de Presión Teórica y Experimental.

Para la embarcación prototipo de 25.76 m de eslora, se preparan curvas de distribución longitudinal de la Presión, aplicando tanto las formulaciones de ABS, como los valores de presión estimados con los resultados experimentales del subcapítulo anterior. Los valores corresponden al punto central, respecto de la semimanga ( $b/2$ ), que fue donde se presentaron los máximos valores de presión. La velocidad del prototipo a la cual se estiman estos valores es 26.62 nudos y se consideran las 3 condiciones de carga de la embarcación. En la Tabla 7, se presentan los resultados de las presiones máximas encontradas mediante la interpolación usando la aceleración del prototipo, de acuerdo a lo explicado en el subcapítulo anterior.

**Tabla 7: Presiones estimadas para el prototipo**

Cond. Carga	Ac. Vert. [g's]	Pos. long. (x/L <sub>w</sub> )	Presión [kN/m <sup>2</sup> ]
Ligero 74 ton	2.14	0.29	64.59
		0.58	119.89
		0.95	99.21
Servicio 81 ton	1.97	0.29	101.26
		0.58	91.52
		0.95	98.02
Carga máxima 90 ton	1.79	0.29	79.00
		0.58	92.39
		0.95	67.42

A continuación se grafican los valores de la presión estimada a partir de los resultados experimentales, junto con la curva de distribución longitudinal de presión calculada con ABS, para cada condición de carga.



**Figura 10: Distribución de presión en el fondo en cada condición de carga del prototipo**

Se puede apreciar que los valores interpolados, siguen la tendencia de la curva estimada por ABS, es decir, siguen su forma trapezoidal, confirmando los resultados teóricos. Además se aprecia que los valores experimentales se encuentran por debajo de dicha curva.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se determinó experimentalmente la distribución de la presión por impacto hidrodinámico en el fondo de una lancha prototipo de Servicio Guardacostas, dejando caer un modelo desde diferentes alturas y registrando la variación de aceleración y presión debido al impacto. También se usaron las formulaciones de la Sociedad de Clasificación ABS del 2012. Luego en forma experimental se obtuvo la distribución espacial y temporal de la presión utilizando un modelo de 1.70 metros de longitud.

La distribución longitudinal de presión en el fondo de la lancha planeadora usando la Sociedad de Clasificación, ABS, muestra que la zona donde se genera la mayor presión, se encuentra alrededor de Sección Media. Esta zona es crítica en embarcaciones planeadoras, debido a que estas al navegar tienden a elevarse y al reentrar golpean la superficie del agua constantemente en esta región, generando el máximo impacto hidrodinámico.

La distribución transversal de presión dinámica obtenida experimentalmente, tiene forma de campana, iniciando en cero en la china, luego alcanza el máximo alrededor del cuarto de manga del fondo de la embarcación, para finalmente reducirse hacia la quilla. A su vez, las presiones máximas aumentan hacia la Popa, dado que en esta región el ángulo de astilla muerta disminuye. En la formulación dada por la sociedad de clasificación, el factor de distribución  $F_D$ , se incrementa conforme la separación entre refuerzos se reduce. Se puede interpretar que cuando la separación entre refuerzos es pequeña, la presión máxima, aún cuando es puntiaguda, cubre la mayor parte de la plancha, incrementándose su efecto.

Las curvas de presión de los puntos de medición transversal ( $y/b_c = 1/4, 1/2$  y  $3/4$ ), graficadas respecto al tiempo, poseen un desfase del valor máximo de presión, de alrededor de 0.04 segundos. En este desfase influye el ángulo de astilla muerta, ya que la presión se desarrolla conforme el modelo impacta la superficie del agua. Por lo tanto el máximo valor registrado en cada posición transversal, el cual se encuentra alrededor de 0.4 segundos después del impacto de la quilla, se desarrolla paulatinamente conforme el modelo ingresa al agua.

La curva de la aceleración registrada durante las pruebas, a pesar que presenta ruido electrónico en su lectura, muestra que luego de iniciada la caída, alcanza un valor negativo cercano a la aceleración de la gravedad, y luego se incrementa hasta un valor máximo. La suma de este valor de aceleración de la gravedad más el de la aceleración vertical del CG del modelo cuando impacta el agua, es el parámetro que se encuentra presente en las formulaciones de ABS,  $(1+n_{cg})$ , y de este, depende linealmente el valor de la presión dinámica en el fondo.

En general los valores de presión registrados experimentalmente, confirman la forma trapezoidal de la distribución longitudinal de presión, además ratifican la zona de presión máxima alrededor de Sección Media. Finalmente los valores experimentales son menores que los estimados aplicando las formulaciones de la Sociedad de Clasificación, de acuerdo a lo esperado.

## REFERENCES

- American Bureau of Shipping, "Guide for Building and Classing of High-speed Craft", Guidance Notes. ABS, 2012.
- Heller, S, y Jasper, N, "On the Structural Design of planning craft", Transacciones RINA, 1960.
- Lee, J., and Wilson, P., "Experimental study of the hydro-impact of slamming in a modern racing sailboat". Journal of Sailboat Technology, SNAME, 2010.
- Marín, José R., "Comparación de dos formulaciones para estimar la presión dinámica en el fondo de embarcaciones planeadoras", Segundas Jornadas Técnicas sobre Diseño y Producción, CINAVE, 2010.
- Ochi, Margaret D. and Bonilla-Norat, José, "Pressure-velocity relationship in impact of a ship model dropped on to water surface and in slamming waves". Naval Ship Research and Development Center, Washington D.C., 1970.
- Sánchez, L., Determinación Experimental de la Presión Dinámica en el Fondo de una embarcación Planeadora. Tesis de Ing. Naval, Facultad de Ing. Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y RR.NN., ESPOL, 2014
- Spencer, J. S., "Structural Design of Aluminum Crewboats". Marine Technology, SNAME, 1975.

## *Authorization and Disclaimer*

*Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.*