

# Diseño y Pruebas de Modelo de una Compuerta Flotante para un Dique Seco para el Mercado Nacional

E. Marcelo Cali Yambay<sup>1</sup>, José R. Marín López<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero Naval, ecali@espol.edu.ec, <sup>2</sup> Ph.D. Ing. Naval, Profesor, Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar  
Escuela Superior Politécnica del Litoral  
Campus Prosperina, Km. 30.5 Vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador,  
jrmarin@espol.edu.ec

## Resumen

*A partir de la lista de embarcaciones nacionales provista por la Dirección General de la Marina Mercante (DIGMER), se estableció en forma preliminar las dimensiones principales de un dique seco que permitiría servir al 85% de la flota nacional, y, también se establecieron las dimensiones de la compuerta necesaria para su cerramiento. Se estimó luego en forma preliminar el peso de la estructura de la compuerta, y la cantidad de lastre fijo (concreto) que se debe colocar, a fin de obtener parámetros favorables de estabilidad, definiéndose así la condición en flotación de la compuerta. A partir de esta condición se calculó la cantidad de lastre móvil (agua) que se necesita para hundir la compuerta. Luego se realizó un análisis detallado de la estructura en diferentes condiciones de carga, utilizando el método de Elementos Finitos, con la ayuda del programa ALGOR. Finalmente para probar la funcionalidad del sistema, se construyó un modelo a escala 1:10 de la compuerta flotante, y se probó en diferentes etapas, mostrando la operacionalidad del sistema.*

**Palabras Claves:** *Dique Seco, Reparación de buques*

## Abstract

*Starting with the list of the ships with ecuadorean flag provided by the Merchant Marine General Administration (DIGMER), it was established at preliminary level the main dimensions of a dry dock that would allow to serve 85% of the national fleet, and, also there were established the dimensions of the floating gate, required to close the dock. Then it was estimated at preliminary level, the weight of the structure, and the fixed ballast to obtain favourable conditions as far as stability is concerned, defining in this way the floatability conditions of the gate. From this situation it was calculated the amount of mobile ballast (water) that it is needed to sink the gate. Then it was developed a detailed structural analysis in different loading conditions, using the Finite element method, with the program ALGOR. Finally to test the functionality of the system, it was built a 1:10 scale model of the floating gate, and it was tested in different stages, showing the operability of the system.*

## 1. Introducción

En nuestro país existe la necesidad de construir un dique seco para la reparación de buques de mayores dimensiones que los que pueden soportar los varaderos existentes, requiriéndose para conseguir su estanqueidad de una compuerta. Existen varias clases de estas, siendo una alternativa la de tipo flotante, cuya construcción es más simple y menos costosa, aunque con un manejo más complicado que las del tipo mecánico o hidráulico. Sin embargo, no existe en nuestro país un estudio sobre este dispositivo que permita confiar en su implementación. Finalmente, habiéndose percibido interés por construir este tipo de sistema, se justifica el desarrollo del diseño de una compuerta flotante para un dique seco para el mercado nacional.

El objetivo general de este trabajo es desarrollar el diseño y pruebas de modelo de una compuerta flotante para ser utilizada en el mercado nacional como medio de cerramiento de un dique seco. Específicamente se pretende primero actualizar la información sobre los requerimientos de diques secos para el mercado nacional, luego desarrollar el diseño preliminar de la compuerta flotante requerida, considerando el equilibrio de Fuerzas Estáticas sobre un cuerpo flotante que la lleve a un comportamiento estable en todas las etapas de operación. Luego se va a desarrollar el análisis estructural detallado de la compuerta flotante empleando el método de Elementos Finitos, en diferentes condiciones de operación, y, finalmente, construir y probar un modelo de la

compuerta flotante, simulando situaciones reales que podrían ocurrir en diferentes etapas de su operación.

## 2. Dimensionamiento de la Compuerta Flotante

A partir del listado de la flota nacional actualizada, considerando embarcaciones cuyas esloras totales son mayores a 45 metros, preparado por la Dirección General de la Marina Mercante y del Litoral, [3], se seleccionaron las dimensiones principales de un dique seco. Se siguió un proceso similar al establecido por Rodas, [8], es decir, las dimensiones del dique deben ser tales para que tenga capacidad para servir al 85% de la flota nacional.

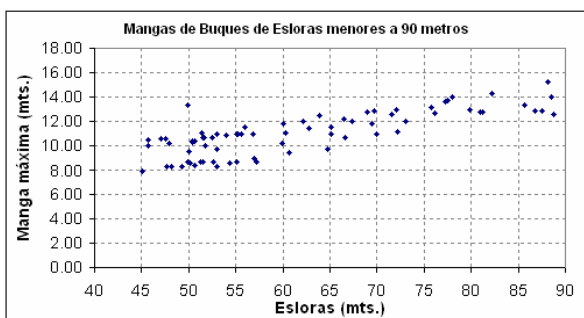
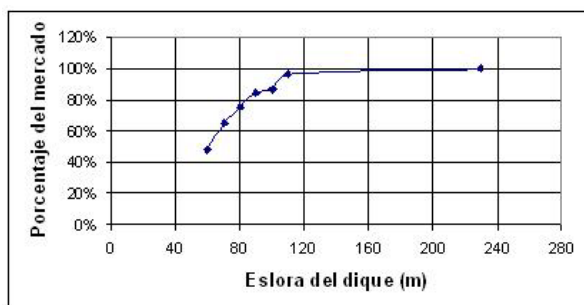


Figura 1. Selección de eslora y manga para el dique

Las dimensiones limitantes de un buque que puede carenarse en el dique son: Eslora, 90.0, Manga, 16.0, y, Calado, 5.50 metros. Las dimensiones principales seleccionadas para el dique seco son:

- Eslora: 95.00 metros
- Manga: 18.00 metros
- Cal. Máx. de trabajo: 5.50 metros
- Profundidad: 6.60 metros

A partir de las dimensiones del dique, se establecieron las medidas principales de una compuerta flotante que proveería el sellado del dique:

- Eslora (Longitud): 18.80 metros
- Puntal (Alto): 7.00 metros
- Manga (Ancho): 4.50 metros

Un esquema del dique seco y la compuerta flotante con las dimensiones principales se presenta en la figura 2.

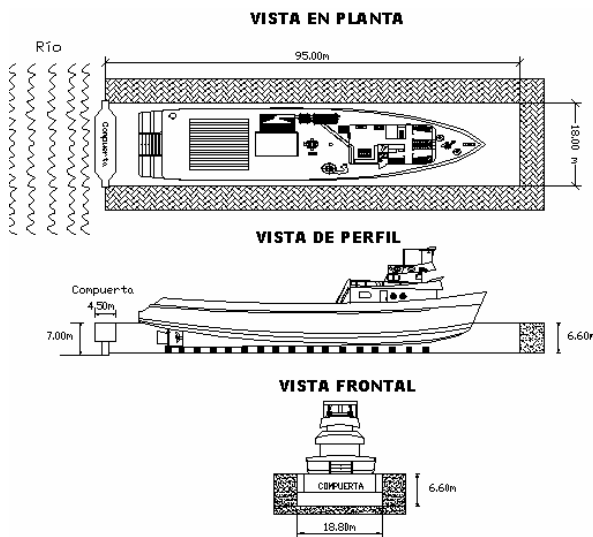


Figura 2. Dique Seco y Compuerta Flotante

Antes de empezar con el diseño de la compuerta flotante se va a describir el principio de funcionamiento de este dispositivo de cierre, lo que permitirá conocer las diferentes condiciones de operación a las que va a estar expuesta. Al inicio, la compuerta se traslada flotando al calado correspondiente a la condición sin lastre móvil (esto es, sin agua), hasta la entrada del dique, en cuyo interior está la embarcación lista para ser varada. El traslado se lo puede realizar con la ayuda de remolcadores o con cabrestantes colocados en el dique o en la compuerta flotante. La maniobra con remolcadores es mostrada en una vista en planta en la figura siguiente.

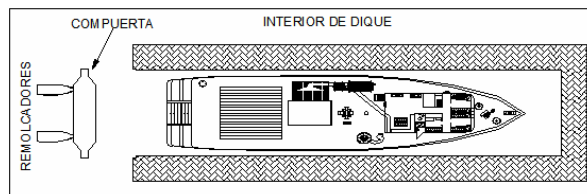


Figura 3. Traslado de la compuerta al sitio de asentamiento

Ya en el sitio de asentamiento se inundan los tanques de lastre líquido hasta que la parte inferior de la compuerta haga contacto con el canal de asentamiento, Figura 4.b, y en ese momento se interrumpe el lastrado de los compartimentos. Al mismo tiempo los remolcadores y/o los cabrestantes ejercen una fuerza inicial sobre la compuerta que la ubica en el canal de asentamiento, y para garantizar una estanqueidad inicial por medio de una junta de caucho. Luego se inicia el achique del dique por medio de bombas disponibles para tal efecto, Figura 4.c, y el buque se vara en la cama preparada previamente. Como existe una diferencia en el nivel de agua dentro y fuera del dique, se deja de ejercer la presión inicial debido a que

comienza a actuar la presión hidrostática del agua que es capaz de garantizar la fuerza necesaria sobre la junta de caucho. El proceso es mostrado en la figura siguiente.

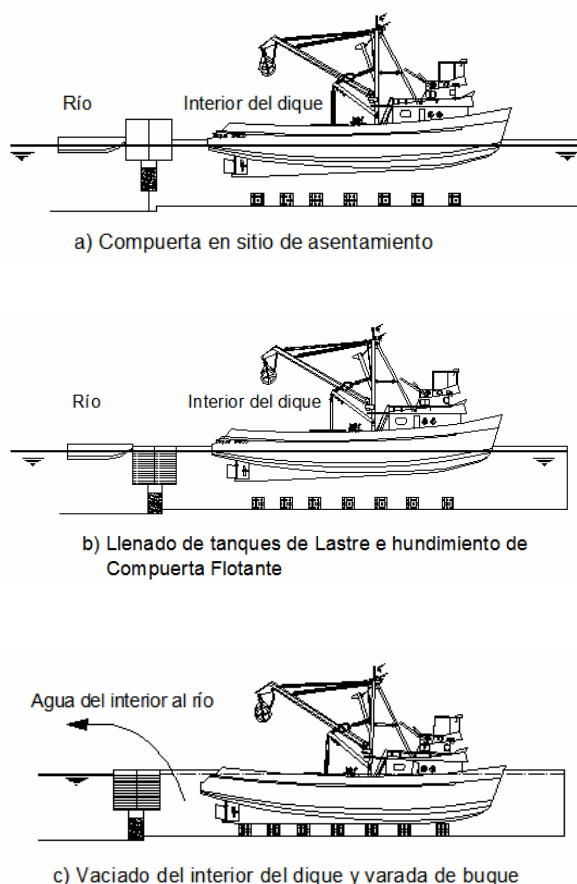


Figura 4. Hundimiento y Vaciado de interior de dique

El reflote de la compuerta se realiza de forma inversa, esto es, se inunda el interior del dique hasta que el nivel de agua dentro y fuera del mismo sean iguales, y, a partir de ese momento se empieza el vaciado de los tanques de agua de lastre de la compuerta por medio de bombas ubicadas en el interior de la misma; cuando la compuerta empieza a flotar, puede ser retirada con ayuda de remolcadores para permitir la salida del buque carenado, mientras la compuerta es trasladada hasta su lugar de amarre. Simultáneamente se completa el achique de los tanques de agua de la compuerta.

### 3. Estabilidad de la Compuerta Flotante

A partir de información disponible sobre otras compuertas actualmente en operación, [4] y [9], se procedió a seleccionar la forma y las dimensiones restantes, véase la Figura 5.

**Estimación Primera del Peso de la estructura.-** Las fuerzas que actúan en el equilibrio son el peso total de

la compuerta y la fuerza de boyantez. Entonces, para establecer el equilibrio y analizar la estabilidad de la compuerta se estimó primero a nivel preliminar el peso de la estructura. Para ello se consideraron diferentes paneles reforzados (plancha y refuerzo), y se siguió un proceso similar al utilizado para analizar la estructura de un buque, es decir, se sumaron los tres esfuerzos primario, secundario y terciario, [5]. Para el primario, y considerando la reducida longitud del sistema analizado, se tomó el 5% del esfuerzo de fluencia, [7]. Para el cálculo del esfuerzo secundario se consideró la influencia del ancho efectivo según el proceso descrito en [2], y, para el terciario se consideró que el panel de planchaje estaba empotrado en sus bordes, [5].

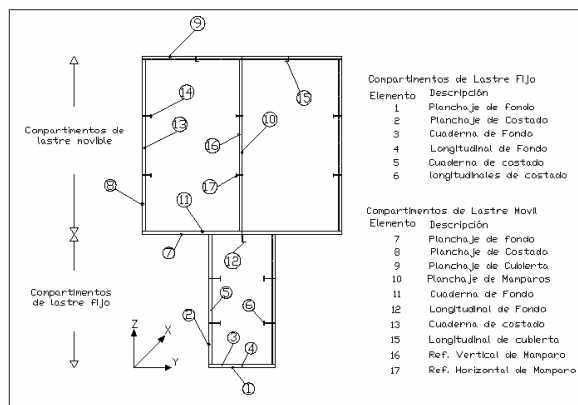


Figura 5. Estructura a nivel preliminar

Tabla 1. Escantillones básicos a nivel primario

Descripción	Espesor requerido estructuralmente		Aumento por corrosión	Espesor requerido		Espesor escogido	
	Plg.	mm	tk(mm)	t r (mm)	Plg.	mm.	
<b>Fondo</b>	3/8	9.53	1.00	10.53	<b>7/16</b>	<b>11.11</b>	
<b>Costado</b>	3/8	9.53	1.00	10.53	<b>7/16</b>	<b>11.11</b>	
<b>Laterales</b>	3/8	9.53	1.00	10.53	<b>7/16</b>	<b>11.11</b>	
<b>Fondo Tqe. agua</b>	1/16	7.94	1.50	9.44	<b>3/8</b>	<b>9.53</b>	

Una vez conocido el arreglo estructural preliminar, se puede calcular su peso y sumarlo al de las maquinarias y accesorios. Al peso estructural calculado se añadió el 2.5 % para considerar soldadura y un 1 % por maquinaria y accesorios, por lo que el peso estimado de la compuerta es de 55 toneladas, con el centro de gravedad ubicado a 3.58 m por encima de la línea base. El calado de la compuerta considerando únicamente el peso ligero (estructura + maquinaria + accesorios) es de 1.90 m, y el  $KM_T$  correspondiente es de 1.05 m. De manera que la compuerta flotando únicamente con su peso ligero es completamente inestable.

A continuación se determinó el peso de lastre requerido para obtener una estabilidad positiva. En la siguiente figura se tiene el calado que se logra con diferentes cantidades de lastre versus la altura del

centro de gravedad, KG, y la posición del Metacentro Transversal,  $KM_T$ .

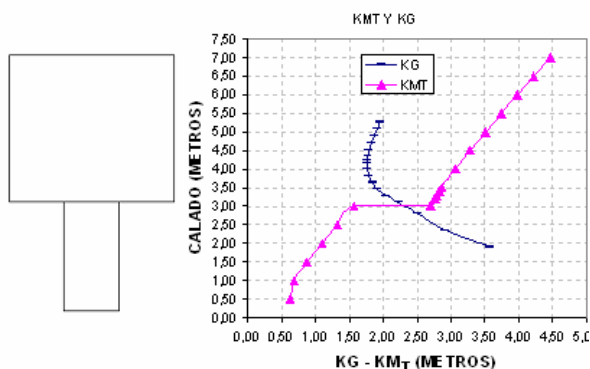


Figura 6. Influencia del lastre fijo sobre Calado, KG y  $KM_T$

Se nota un cambio drástico en  $KM_T$ , una vez que se sobrepasa la región inferior de la compuerta, esto es, a un calado de 3 metros, debido a la diferencia en manga (ancho) de dicha región, respecto de la superior. Una vez sobrepasada esta frontera, el  $KM_T$  es mayor que el KG, esto es, la estabilidad se torna positiva. Sin embargo, debe notarse que con una pequeña inclinación, parte del plano de flotación quedaría al descubierto, es decir, se reduciría drásticamente su inercia y por tanto el  $KM_T$  (recordemos que:  $KM_T = KB + BM_T$ , y a su vez,  $BM_T = I_{transv} / \nabla$ ). Para considerar este posible problema, se asumió una inclinación de 25°, y se determinó el calado al cual el plano de flotación superior no se descubriría parcialmente:

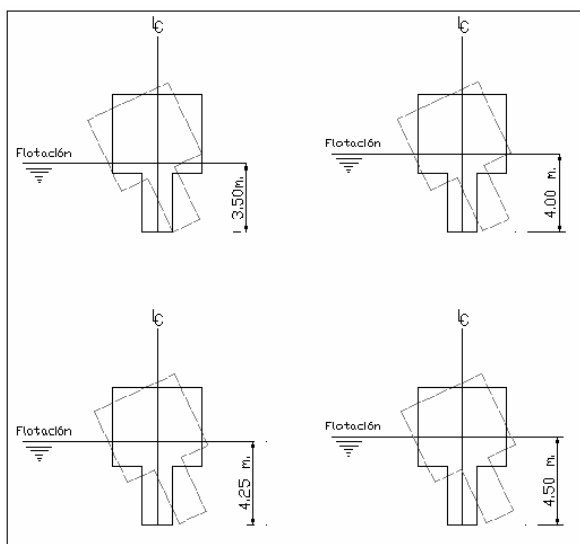


Figura 7. Inclinación de la compuerta de 25° con diferentes calados

Se determinó que a partir de 4.25 metros de calado, se tiene la seguridad de que bajo una inclinación de 25° no se descubre el plano de flotación superior. Como una medida de seguridad, se tomó un calado de 4.50

metros, de manera que se tienen las siguientes condiciones de operación:

- Calado con lastre fijo: 4.50 metros
- Peso de Lastre fijo: 138.96 toneladas
- Altura de lastre fijo: 2.16 metros
- Desplazamiento: 193.96 toneladas

Para llegar a hundir completamente la compuerta, se requiere inundar los tanques de agua superiores de la siguiente forma:

- Volumen de agua necesaria: 178.35 m<sup>3</sup>
- Peso de agua necesario: 183.16 tons
- Altura de Tanques agua de lastre: 3.39 m.

Cabe recalcar que existe un espacio vacío entre el lastre fijo y el móvil; esto se debe a que para el diseño preliminar se escogieron dimensiones sin conocer el volumen necesario para el lastre fijo. Para un diseño definitivo se pueden modificar las dimensiones para que todo el volumen de los tanques de lastre fijo sea ocupado, y además se cumplan las características de equilibrio estable. Otra opción sería estimar el peso específico del concreto para que con el peso requerido llene completamente el volumen disponible.

**Estabilidad durante el hundimiento de la compuerta.-** Para producir el hundimiento, los tanques de agua de lastre se van llenando parcialmente, esto causa que la posición vertical del centro de gravedad (KG) tenga una variación debido al peso añadido y al efecto de superficie libre. Como parte del análisis de seguridad se debe verificar, que la estabilidad de la compuerta sea positiva durante todo el transcurso de la operación. El movimiento del KG estará dado por la siguiente fórmula:

$$KG_{\text{corregido}} = KG_{\text{final}} + GG_1,$$

donde:

$KG_{\text{corregido}}$ : es la posición final del centro de gravedad debido a los dos efectos anteriores.

$KG_{\text{final}}$ : es la posición del centro de gravedad incluyendo la influencia de la adición del peso del agua de lastre añadido,

$GG_1$ : es el movimiento debido al efecto de superficie libre,  $GG_1 = I_{xx} / \nabla$ ,

$I_{xx}$ : la inercia del plano de superficie de agua del tanque respecto del eje X, y,

$\nabla$ : Volumen desplazado de la compuerta.

A continuación se presenta una figura que presenta la variación del  $KM_T$  y KG para diferentes calados de la compuerta flotante, causado por la inundación de los tanques ubicados en la parte superior.

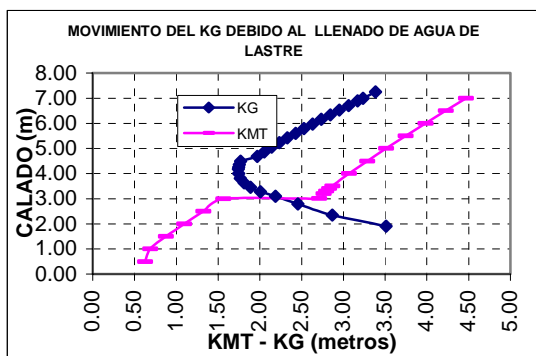


Figura 8. KG y KM<sub>T</sub> resultantes vs Calado durante el hundimiento

En la figura anterior se observa que la diferencia entre KG y KM<sub>T</sub>, por encima del calado al desplazamiento ligero, luce uniforme a lo largo del hundimiento, con un valor aproximado de 1.25 metros. Esta diferencia representa la altura metacéntrica transversal, GM<sub>T</sub>, por lo tanto la estabilidad de la compuerta será positiva en todo el rango de operación.

**Distribución General.-** La compuerta flotante está conformada por dos compartimentos, el inferior donde se aloja el concreto utilizado como lastre fijo y el superior que consta de 6 tanques de agua de lastre con una capacidad total de 54000 galones. Además tiene en los extremos dos cuartos de bombas, necesarias para el desalojo del agua de lastre. A continuación se presenta la distribución general de la compuerta:

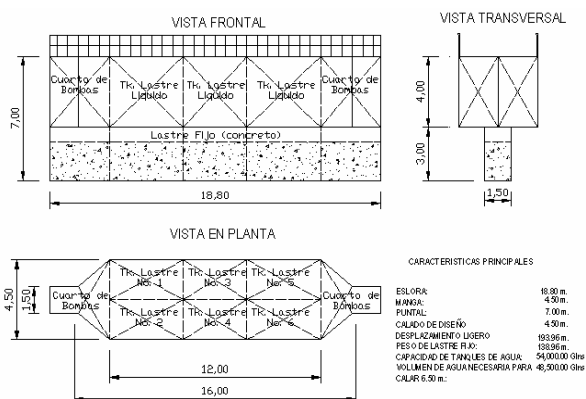


Figura 9. Distribución general de la compuerta flotante

Para lograr la estanqueidad requerida para una operación adecuada del dique se deben instalar sellos de caucho como los que se muestran en la siguiente figura, producidos en forma comercial:

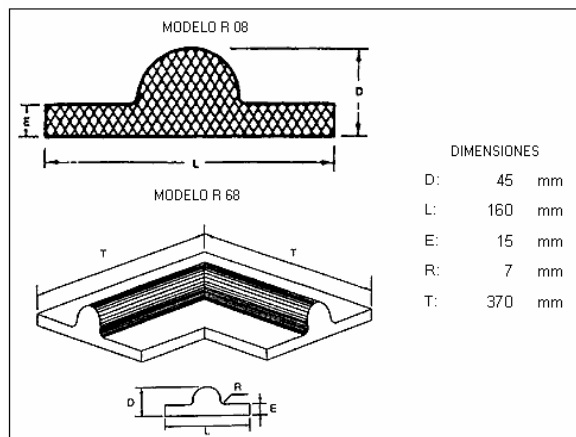


Figura 10. Sellos de caucho para lograr estanqueidad del dique

### 4. Análisis Estructural

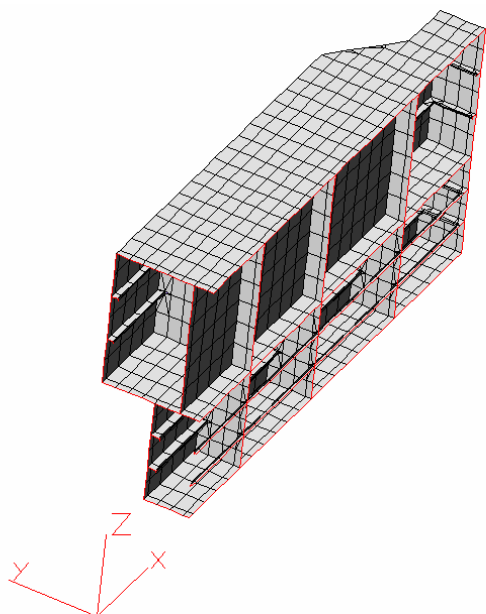
Dado que el cálculo estructural fue desarrollado en forma simplificada, para estimar el peso de la compuerta y poder analizar la estabilidad de la misma, fue necesario desarrollar un análisis estructural detallado empleando el método de Elementos Finitos. El programa Algor que aplica el método mencionado, fue utilizado en este trabajo y calcula los desplazamientos y los esfuerzos. Estos últimos los puede combinar de acuerdo al criterio de falla de Tresca\*2, cuya ecuación se presenta a continuación.

$$\sigma = \frac{1}{2} \text{MAX}[|S_1 - S_2|, |S_2 - S_3|, |S_3 - S_1|]$$

donde:

$\sigma$  : intensidad del esfuerzo  
 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>: esfuerzos normales en las direcciones X, Y, y, Z respectivamente.

Para el desarrollo del modelo con Elementos Finitos, los refuerzos primarios, longitudinales, (“girders”) se representaron con elementos planchas, y los refuerzos secundarios, cuadernas, (“stiffeners”) se representaron con elementos vigas. En el caso de los refuerzos secundarios se incluyó para el cálculo de su inercia, el ancho efectivo de la plancha a la que está soldado, siguiendo lo recomendado por [2]:



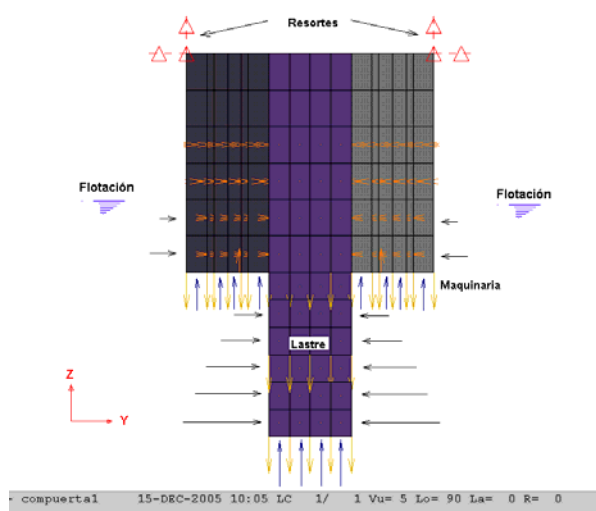
**Figura 11.** Interior del modelo representado con el Método de Elementos Finitos, MEF

Finalmente la intensidad del esfuerzo calculado se compara con el esfuerzo de fluencia del acero, que corresponde a  $2400 \text{ Kg/cm}^2$  ( $23500 \text{ N/cm}^2$ ).

Se considerarán tres condiciones de carga, que corresponden a:

- 1- Compuerta flotando únicamente con lastre fijo,
- 2- Compuerta hundida hasta la profundidad de operación, pero sin asentarse en la base, y,
- 3- Compuerta asentada y con el dique sin agua.

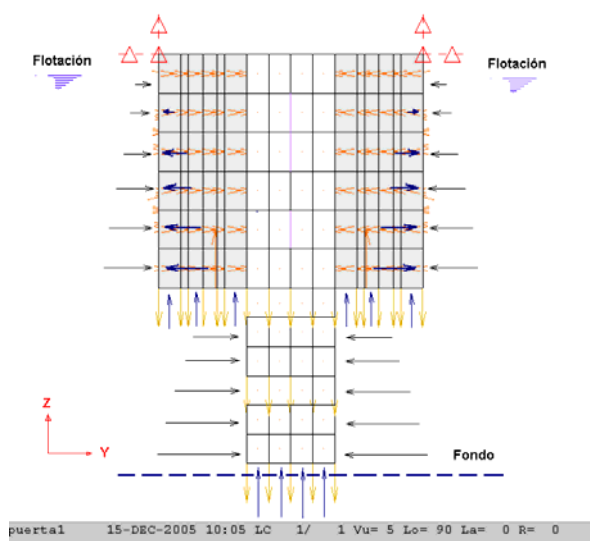
A continuación se presentan los modelos desarrollados para las tres condiciones de carga analizadas:



**Figura 12.** Modelo MEF para analizar la Condición de carga 1

En la condición 1, se tiene como fuerzas externas, la presión hidrostática actuando sobre ambos lados de la compuerta, hasta un calado de 4.50 metros, y, los pesos tanto de la estructura, maquinaria y accesorios, y, lastre fijo. Dado que un cuerpo flotante en equilibrio estático no tiene puntos de desplazamiento ó rotación nulos, esto es, no se pueden especificar condiciones de frontera geométricas, hubo necesidad de adicionar resortes al modelo numérico, en ciertos nodos superiores. De esta forma se evitó la singularidad del problema, y, dado que el equilibrio estático estaba garantizado con la fuerza de boyantez y los pesos, las fuerzas que se desarrollaron en los resortes mencionados resultaron muy pequeñas, e influyeron muy poco en los resultados obtenidos.

La condición de carga 2 es muy similar a la primera excepto en que el calado es mayor, y se tiene la acción hidrostática en el interior de los tanques de lastre apuntando hacia afuera de la compuerta.



**Figura 13.** Modelo MEF para analizar la Condición de carga 2

En la condición de carga 3, que se muestra en la figura 14, la compuerta se la considera como apoyada simplemente en el fondo y en el marco del dique. La estructura soporta la acción hidrostática de un solo lado de la compuerta, el que da al río; también soporta la acción hidrostática actuando en el interior de la compuerta dado que los tanques de lastre móvil, superiores, están llenos.

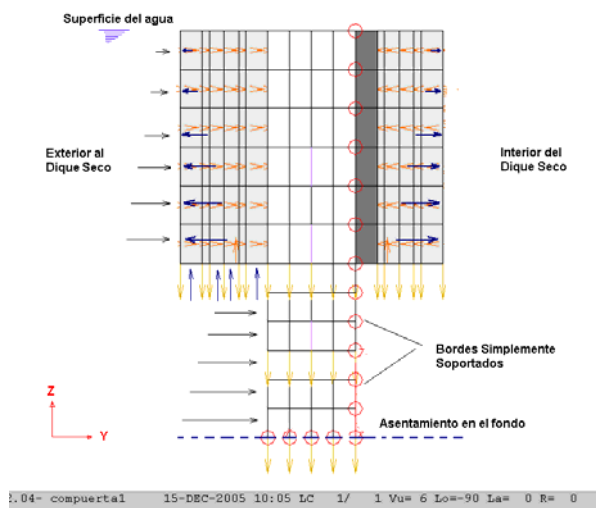


Figura 14. Modelo MEF para analizar la Condición de Carga 3

Luego de un primer análisis se determinó que los esfuerzos estaban dentro del rango permisible, y había ciertas zonas que estaban poco exigidas. Se notaba también zonas de concentración de esfuerzos en el paso de los refuerzos primarios longitudinales a través de los mamparos transversales. Entonces, se redujeron ciertos escantillones, y se incluyeron escuadras en el modelo para reducir las concentraciones de esfuerzos mencionadas. Dado que la condición de carga más exigente resultó ser la tercera, fue la única que se analizó en esta segunda fase. A continuación se presentan las reducciones de escantillonado y en forma gráfica las intensidades de esfuerzo en  $N/cm^2$ .

Tabla 2. Reducción de escantillones

Descripción	Iniciales (plg) (mm)		Finales (plg) (mm)		Modificado
<b>Compartimentos de Lastre fijo</b>					
Fondo	7/16	11.11	7/16	11.11	No
Costado	7/16	11.11	3/8	9.53	Si
Laterales	7/16	11.11	3/8	9.53	Si
Mamparos Transversales	5/16	7.94	1/4	6.35	Si
<b>Compartimentos de Agua de Lastre</b>					
Fondo	3/8	9.53	5/16	7.94	Si
Costado	5/16	7.94	1/4	6.35	Si
Laterales	5/16	7.94	1/4	6.35	Si
Mamparos Transversales	5/16	7.94	1/4	6.35	Si
Mamparo Longitudinal	5/16	7.94	1/4	6.35	Si
Cubierta	1/4	6.35	1/4	6.35	No

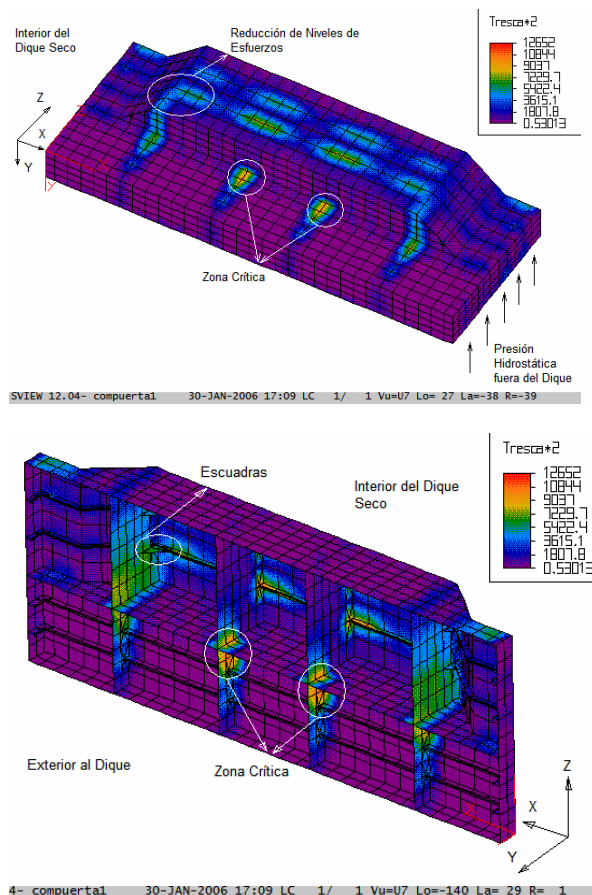
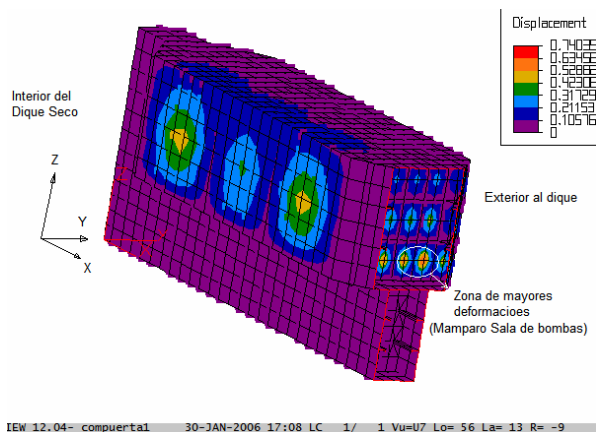


Figura 15. Distribución final de intensidad de esfuerzos

En la figura anterior se pueden observar las escuadras colocadas, que produjeron una reducción de esfuerzos de  $14120 N/cm^2$  ( $1440 Kg/cm^2$ ) a  $7300 N/cm^2$  ( $744 Kg/cm^2$ ) en las zonas de alta concentración (reducción de hasta el 48%). Las zonas críticas son señaladas en la figura anterior y alcanzan niveles de hasta  $12652 N/cm^2$  ( $1290 Kg/cm^2$ ), valor por debajo del esfuerzo de fluencia.

En la siguiente figura se muestran los desplazamientos calculados en cm, todos inferiores a 8 mm, recomendado por [6], como valor máximo para el costado de buques. Aun cuando no se trata de una embarcación, a los autores les pareció razonable la comparación con este estándar para juzgar la rigidez de la estructura.



**Figura 16.-** Distribución de desplazamientos, en cm, Condición de Carga 3

A continuación se presenta en la siguiente tabla el resumen de los esfuerzos antes y después de la reducción de escantillones, y con la inclusión de escuadras.

**Tabla 3.** Resumen de Esfuerzos, antes y después de la reducción de escantillones.

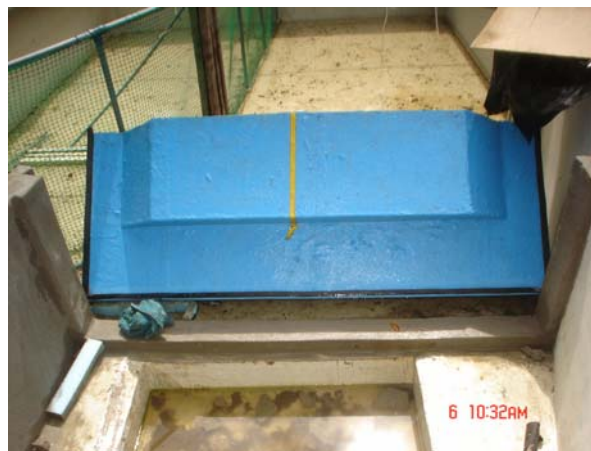
Ubicación	Iniciales		Finales	
	Nodo	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>	Nodo	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>
<i>Compartimentos de lastre fijo</i>				
Fondo	80	107.4	80	128.6
Laterales	411	447.2	411	538.9
Costados	947	851.9	947	1079.5
Mamparos Transversales	969	884.5	969	1141.7
Refuerzos longitudinales primarios	808	759.4	808	955.5
<i>Compartimentos de Agua de lastre</i>				
Fondo	1131	825.7	1131	1047.9
Mamparos	1662	1421.0	1662	626.2
			1465	801.1
Costados (zona de cambio de sección)	1620	1421.0	1620	642.9
			1633	816.4
Laterales	2324	240.0	2324	283.9
Refuerzos longitudinales primarios	1641	1421.0	1641	927.1
			<b>1647</b>	<b>1289.5</b>
Cubierta	2721	515.7	2856	643.9

### 5. Pruebas del Funcionamiento del Modelo de la Compuerta

Finalmente se probó la compuerta como dispositivo de sellamiento. Para esto se construyó un modelo con plywood marino, a escala 1:10 de la compuerta flotante, y se probó su funcionamiento en un estanque construido dentro de una piscina, que simulará el dique seco. Todas estas pruebas se las realizaron en las facilidades de la Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar de la ESPOL, campus Gustavo Galindo.

A diferencia del prototipo, el modelo construido tenía un solo mamparo transversal que divide en dos tanques de agua de lastre, suficientes para probar su

funcionamiento. En la figura a continuación se presenta el modelo de la compuerta, junto con las instalaciones que simularon el dique seco, antes de ser llenado con agua.



**Figura 17.** Modelo de la compuerta desde dentro del “dique”

Antes de realizar las pruebas de funcionamiento, fue necesario verificar que la posición del Centro de Gravedad, CG, era consistente con la del prototipo. Para ello se llenó con arena el compartimento para el lastre fijo, y luego se debió realizar un experimento de inclinación del modelo de la compuerta para determinar la posición vertical del CG. Luego, se añadieron pesos para lograr la similaridad en peso y posición vertical del CG, véase la Figura 18, y, una vez añadidos los pesos de corrección, los valores resultantes y esperados fueron:

**Tabla 4.** Características del modelo y prototipo

	Calculados	Esperados	Porcentaje de diferencia
Desplazamiento (Kg):	189.81	189	0.43 %
KG (cm):	18.63	18	3.50 %



**Figura 18.** Compuerta en condición de flotación de diseño

Se probó finalmente al modelo de la compuerta siendo movido hacia la posición de hundimiento, durante el



hundimiento, proveyendo estanqueidad al “dique seco”, y, siendo reflotado. El sistema probado funcionó de manera esperada, durante las fases descritas, lo que garantiza su implementación en un dique seco.



**Figura 19.** Compuerta hundida y proveyendo estanqueidad al dique

## 6. Conclusiones

Se ha desarrollado un procedimiento general de diseño para una compuerta, que puede ser usado como base para futuros diseños de estructuras flotantes que tengan funcionamiento similar. Las dimensiones del dique tomado como base para el diseño de la compuerta flotante permiten servir al 85% de la flota mercante nacional. Luego se hizo un análisis detallado de la estabilidad de la compuerta, que empezó con la definición estructural a nivel preliminar, para determinar el peso de la estructura. Se determinó luego la cantidad de lastre fijo requerido para alcanzar un adecuado nivel de estabilidad, aún bajo inclinaciones razonables de la compuerta (25°). Se comprobó también la estabilidad positiva del sistema durante las etapas de operación. El análisis estructural con el método de Elementos Finitos utilizando el programa ALGOR, permitió comprobar la integridad estructural en las tres condiciones de carga analizadas. Finalmente se realizaron pruebas con el modelo de la compuerta a escala 1:10, y se comprobó el comportamiento estable de la compuerta y la razonable maniobrabilidad de esta al ser trasladada hacia el sitio de asentamiento. Además la operación de flotación y reflote del modelo de la compuerta, se desarrolló de la manera esperada. Se notaron en el contorno de la compuerta tres zonas por donde se filtraban pequeñas cantidades de agua; luego de la inspección se determinó que se debía a las irregularidades en la superficie del modelo, lo que no permitía la correcta presión del sello de caucho sobre los bordes. Sin embargo la cantidad de flujo que ingresa se considera

razonable y puede ser fácilmente controlable con un equipo de bombeo.

## 7. Referencias

- [1] Cali, M., Diseño y Pruebas de Modelo de una Compuerta Flotante para un Dique Seco para el Mercado Nacional. Tesis de Ingeniero Naval, Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, ESPOL, 2006.
- [2] Det Norske Veritas, Hull Structural Design, Ships with Length less than 100 meters. DNV, Noruega Enero de 1991.
- [3] DIGMER, Registro de Embarcaciones Nacionales. Dirección General de Marina Mercante y del Litoral, Agosto del 2005.
- [4] Hernández, S., Fotos de Compuerta Flotante del Dique del Astillero ASMAR. Comunicación Personal, Chile, 2004.
- [5] Hughes Owen F., Ship Structural Design. The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New Jersey, 1983.
- [6] International Association of Classification Societies, Shipbuilding and Repair Quality Standard for New Construction, LR Technical Association.
- [7] Marín, J. R., Estructuras Navales II, Notas de Clase. ESPOL, Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, 2003.
- [8] Rodas, F., Estudio de la Necesidad, Dimensionamiento e Implantación de un Dique Seco para Servir a la Flota Mercante de Tráfico Internacional. Tesis de Grado de Ingeniero Naval, Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, ESPOL, 1997.
- [9] Fotos de la Compuerta Flotante del Dique del Astillero Mahua, Visita técnica por M. Cali, Niteroi, Brasil, 2005.

