

DISEÑO Y PRUEBAS DE MODELO DE UNA COMPUERTA FLOTANTE PARA UN DIQUE SECO PARA EL MERCADO NACIONAL

Marcelo Cali Yambay 1, José R. Marín López 2

1 Egresado de Ingeniería Naval 2003

2 Director de Tesis. Ph.D. Ingeniería Naval, Universidad Michigan 1990, Profesor de ESPOL desde 1984.

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 permitirá servir al 85% de la flota nacional, y además 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 funcionabilidad del sistema, se construyó un modelo a escala 1:10 de la compuerta flotante, y se la probó en diferentes etapas de operación del sistema.

DESIGN AND MODEL TEST OF A FLOATING CASE FOR A DRY DOCK FOR THE NATIONAL MARKET

SUMMARY

Starting with the list of the ships with ecuadorean flag provided by the Merchant Marine General Direction (DIGMER), it was established in preliminary level the main dimensions of a dry dock that allow to serve 85% of the national fleet, and also it was established the dimensions of the floating case, required for its tightness. Then it was estimated at preliminary level the weight of the structure, in order to obtain favourable conditions as stability is concerned, defining in this way the flotability conditions. From this condition it was calculated the amount of mobile ballast (water) that it is needed to get the adequate draft. Then it was developed a detailed structural analysis in different load conditions, using the Finite element method, with the program ALGOR. Finally to test the functionality of the system, it was built a model at 1:10 scale of the floating case, and it was tested in different operation stages of the system.

INTRODUCCIÓN

En el país existe la necesidad de construir un dique seco para la reparación de buques de dimensiones mayores de los que pueden soportar los varaderos existentes, requiriéndose para 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 manejo más complicado que las del tipo mecánico o hidráulico. Sin embargo, no existe en nuestro país un estudio sobre este dispositivo que permita tener confianza en su implementación. Finalmente, habiéndose percibido interés por construir este tipo de sistema, se justifica la realización de un diseño de una compuerta flotante para un dique seco para el mercado nacional.

El objetivo general de este trabajo es desarrollar un diseño y pruebas de modelo de una compuerta flotante para ser utilizada en el mercado nacional como medio de cerramiento de un dique seco.

Los Objetivos específicos son:

- Actualizar la información sobre los requerimientos de diques secos para el mercado nacional.
- Desarrollar el diseño preliminar de la compuerta flotante requerida, considerando el equilibrio de Fuerzas Estáticas sobre un cuerpo flotante.
- Realizar el análisis estructural de la compuerta flotante empleando el método de Elementos Finitos, en diferentes condiciones de operación.
- Construir y probar un modelo de la compuerta flotante, simulando situaciones reales que podrían ocurrir en las diferentes etapas del proceso de operación.

CONTENIDO

Dimensionamiento de la compuerta Flotante

El 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, nos da información para seleccionar seleccionan las dimensiones principales del dique y las de la compuerta flotante.

Dimensiones principales del dique seco

Eslora: 95 metros

Manga: 18 metros

Calado Máximo de la embarcación de trabajo: 5.50 metros

Profundidad: 6.60 metros

Dimensiones principales de la compuerta flotante

Eslora: 18.80 metros

Puntal: 7.00 metros

Manga: 2.50 metros

Un esquema del dique seco y la compuerta Flotante con las dimensiones principales son presentadas a continuación en la figura No. 1

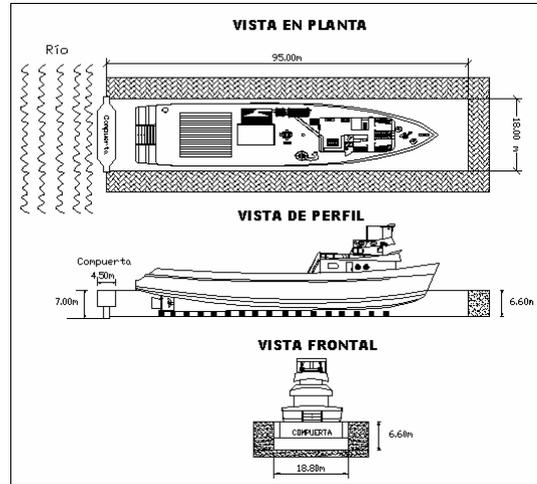


Figura No. 1 Esquema del Dique Seco y Compuerta Flotante

Antes de empezar con el diseño de la compuerta flotante se va describir el principio de funcionamiento de este dispositivo de cierre, lo que permitirá conocer las diferentes condiciones de operación a las que va estar expuesta. En inicio la compuerta se traslada flotando al calado correspondiente sin lastre móvil (agua), hasta el lugar de asentamiento en 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 auxiliares o 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.

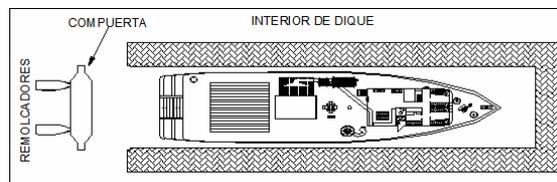


Figura No. 2 Traslado de la compuerta al sitio de asentamiento

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, y en este momento se interrumpe el lastrado de los compartimentos. Al mismo tiempo los remolcadores y/o los cabrestantes ejercen una presión inicial entre la compuerta y el

canal de asentamiento para garantizar una estanqueidad inicial por medio de la junta de caucho. Luego se inicia el achique del dique por medio de bombas disponibles para tal efecto, 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 el gráfico siguiente.

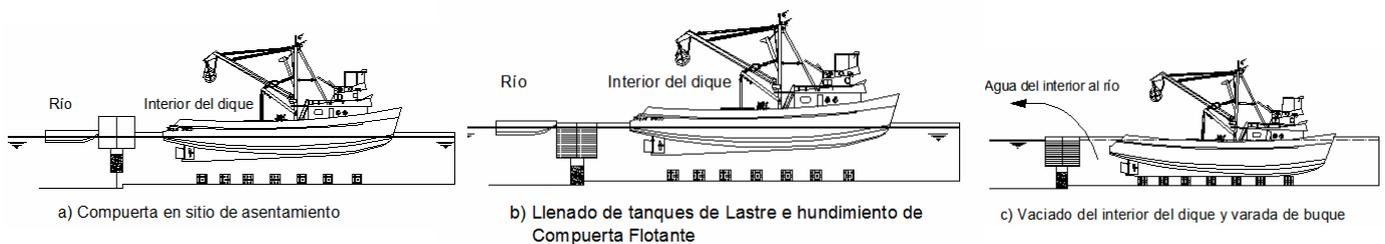


Figura No.3 Hundimiento y Vaciado de interior de dique

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 dique sean relativamente iguales, a partir de ese momento se empieza el vaciado de los tanques de agua de lastre por medio de bombas ubicadas en el interior de la compuerta, en el instante en que la compuerta empieza a flotar, esta puede ser retirada para permitir la salida del buque carenado y mientras la compuerta es trasladada hasta su lugar de amarre, simultáneamente se completa el achique de los tanques de agua.

Diseño de la compuerta flotante

Las fuerzas que actúan en el equilibrio son el peso de la compuerta vs. la fuerza de boyantez. Como ya se conoce el arreglo estructural preliminar, se puede ahora calcular su peso y sumarlo al peso de maquinarias y accesorios. El resumen del cálculo del peso y centro de gravedad (KG) es presentado en el anexo 4. 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 54,901.98 Kg, equivalente a 55 Toneladas, con su centro de gravedad ubicado a 3.58 m por encima de la línea base

Compuerta en flotación hasta llegar a sitio de asentamiento

Calado: 4.50 metros

Peso de Lastre fijo: 138.96 Toneladas

Altura de llenado de Tanques de lastre fijo: 2.16 metros

Desplazamiento: 193.96 Toneladas

El ángulo de escora al cual se descubrirá el plano de agua es de 40° y es presentado en la figura siguiente.

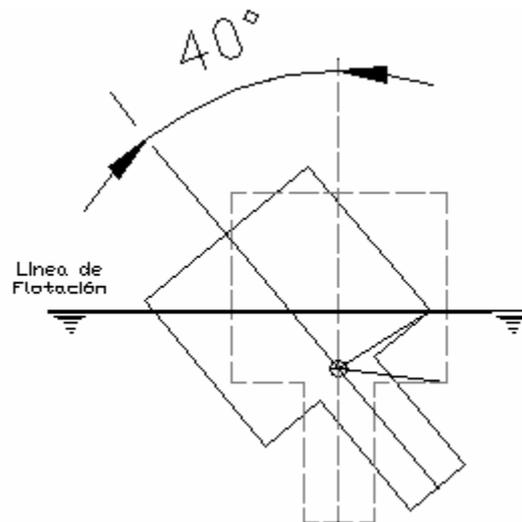


Figura No. 4 Ángulo de escora para descubrir plano

Condiciones para hundimiento de 6.50 metros

Volumen de agua necesaria: 183.16 m³

Peso de agua necesario: 178.35 toneladas

Altura de llenado de Tanques de lastre móvil: 3.39 metros

Cabe recalcar que existe un espacio vacío entre el lastre fijo y móvil, esto se debe a que para el diseño preliminar se escogió dimensiones sin conocer el volumen necesario para el lastre fijo. Para un diseño final se puede optar por modificar las dimensiones para que todo el volumen de los tanques de lastre sean ocupados y cumplan las características de equilibrio.

Condiciones de estabilidad en el hundimiento de la compuerta

Para producir el hundimiento, los tanques de agua de lastre se van llenando parcialmente, esto origina que la posición del centro de gravedad (KG) tenga un aumento debido al peso añadido, además del efecto de superficie libre. Como medida de seguridad se debe verificar, que la estabilidad de la compuerta sea positiva durante el transcurso de esta operación. El movimiento del KG estará dado por las siguientes fórmulas:

$$KG(\text{corregido}) = KG(\text{final}) + GG_1,$$

$$GG_1 = \frac{I_{xx}}{\Delta},$$

donde:

KG (final): es la posición del centro de gravedad debido al peso del agua de lastre añadido

GG1: es el movimiento debido al efecto de superficie libre

KG (corregido): es la posición final del centro de gravedad debido a los dos efectos anteriores.

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

Δ : Desplazamiento de la compuerta

A continuación se presenta el grafico del KM_T y KG para diferentes calados de la compuerta flotante.

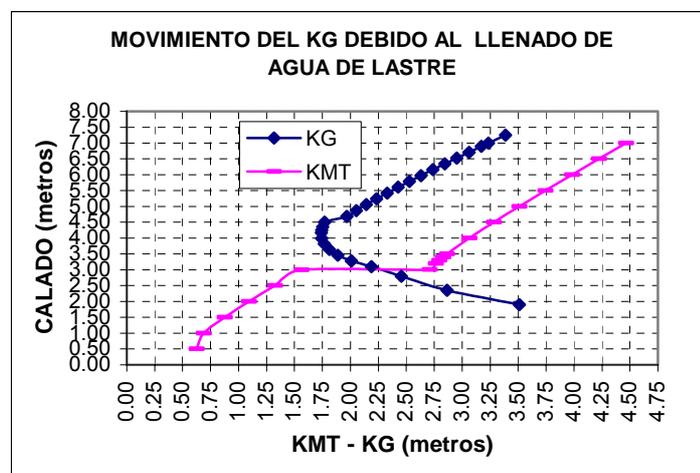


Figura No.5 KG-KMT finales Vs. Calados

De la figura anterior se observa que la diferencia entre KG y KMT, es uniforme a lo largo del hundimiento, con un valor aproximado de 1.25 metros, por lo tanto la estabilidad será siempre positiva en ese lapso 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 dos cuartos de bombas, necesarias para el desalojo del agua de lastre. A continuación se presenta la distribución general de la compuerta.

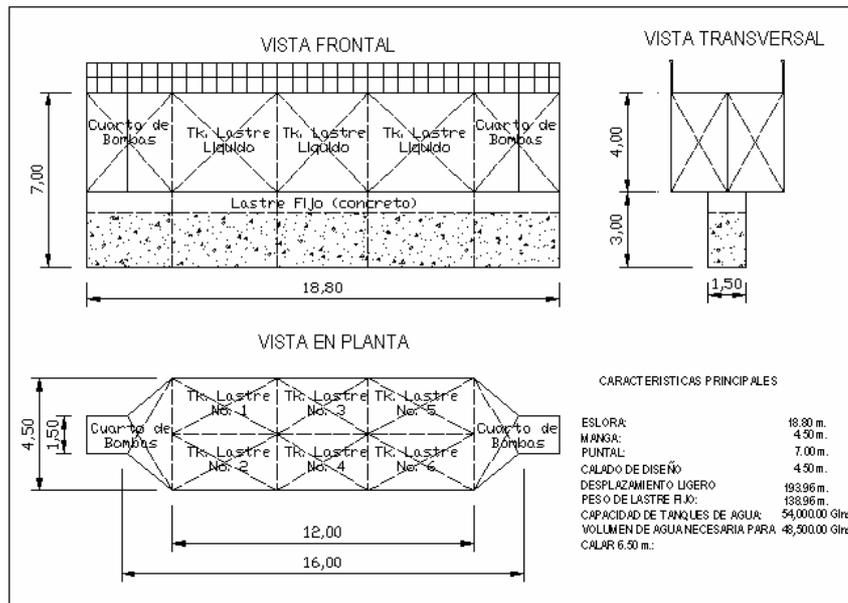


Figura No.6 Distribución General de la Compuerta flotante

Análisis Estructural

Algor calcula las deformaciones y los esfuerzos. Estos últimos los combina utilizando el criterio de falla de Tresca*2, cuya ecuación se presenta a continuación.

$$\sigma = 0.5 \times \text{MAX}[\text{abs}(S1 - S2), \text{abs}(S2 - S3), \text{abs}(S3 - S1)]$$

Donde:

σ ; intensidad de esfuerzo

S1, S2, S3; esfuerzos normales a los planos X, Y, Z respectivamente.

Finalmente el esfuerzo calculado es comparado con el esfuerzo de fluencia del acero, que corresponde a 2400 Kg/cm². Los resultados son presentados en N/cm² para los esfuerzos y cm para los desplazamientos o deformaciones.

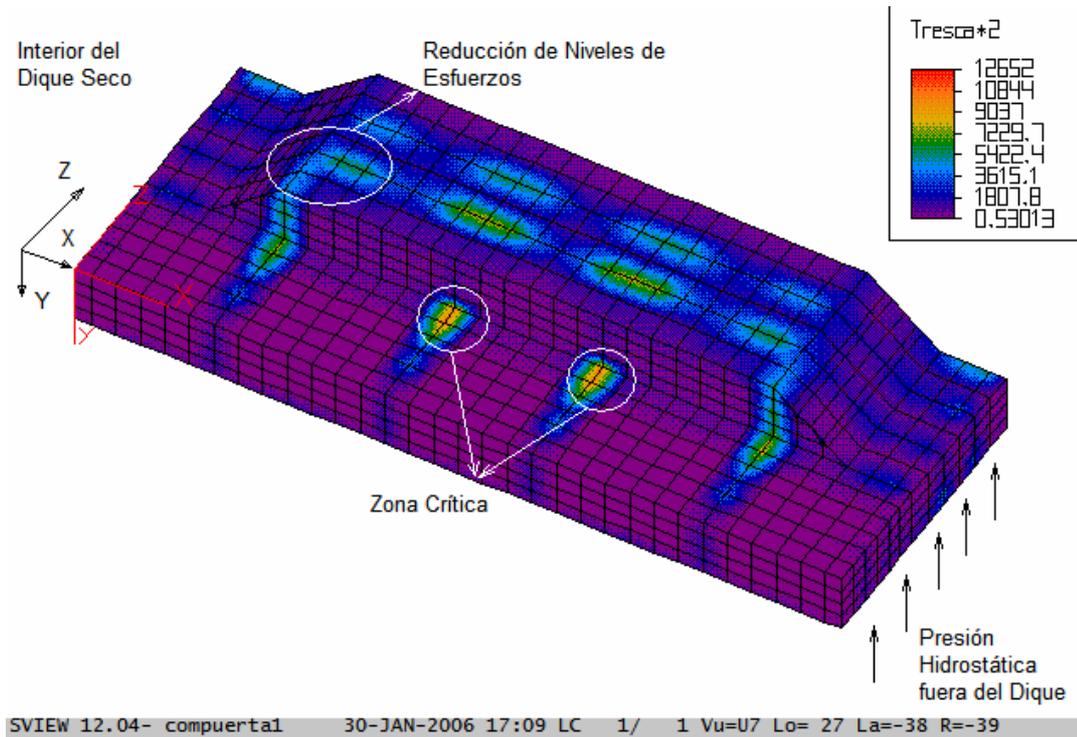


Figura No. 7 Distribución de esfuerzos

En el gráfico 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; esto es, disminución de hasta el 48%. Las zonas críticas son marcadas en el gráfico anterior y alcanzan niveles de hasta 12652 N/cm^2 (1290 Kg/cm^2), valor que se encuentra por debajo del esfuerzo de fluencia. A continuación se presenta en la siguiente tabla el resumen de los esfuerzos antes y después de la disminución de escantillones.

| Ubicación | Iniciales | | Finales | |
|---|-----------|--------------------------------|---------|--------------------------------|
| | Nodo | Esfuerzo Kg/cm ² | Nodo | Esfuerzo Kg/cm ² |
| <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 |
| | | | 1647 | 1289.5 |
| Cubierta | 2721 | 515.7 | 2856 | 643.9 |

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

PRUEBAS DEL FUNCIONAMIENTO DEL MODELO DE LA COMPUERTA

A continuación del diseño de la compuerta, se probará el funcionamiento de este sistema. Para esto se construirá un modelo a escala de la compuerta flotante, y será probado su funcionamiento en un estanque construido en una piscina, que simulará el dique seco.

A diferencia del prototipo, el modelo tiene un solo mamparo transversal que divide en dos tanques de agua de lastre, suficientes para probar su funcionamiento. En el gráfico a continuación se presenta el modelo de la compuerta, junto con las instalaciones que simularan el dique seco, antes de ser llenado con agua.



Figura No. 8 Modelo dentro de las instalaciones.

El sistema probado funcionó de manera esperada, lo que garantiza su posible implementación de manera definitiva en un dique seco.

Conclusiones

Se ha desarrollado un procedimiento general de diseño para una compuerta flotante, que puede ser usado como referencia, para futuros diseños de estructuras flotantes que tengan funcionamientos similares.

Las pruebas realizadas con el modelo, comprobaron el comportamiento estable de la compuerta y la fácil 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, como se predijo en el diseño. La permeabilidad hacia el interior del dique, se produjo casi en todos los contornos, existiendo tres zonas por donde se filtraba poca cantidad de flujo de agua, esto se debe a las irregularidades de construcción 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 es relativamente despreciable y puede ser fácilmente controlable. De lo expuesto anteriormente se confirma la funcionabilidad del sistema, que llevaría a su posible implementación de manera real.

REFERENCIAS

1. Cali, M., Fotos de la compuerta Flotante del Dique del Astillero MAHUA, Visita técnica, Niteroi, Brasil Mayo de 2005
2. DET NORSKE VERITAS, Hull Structural design Ships with Length less than 100 meters, Norway Enero de 1991
3. DIGMER, Registro de Embarcaciones Nacionales, Agosto de 2005
4. Glazer, Steel & Aluminum Metal Reference Guide, New Orleans
5. Hernández, S., Fotos de Compuerta Flotante del Dique del Astillero ASMAR, Comunicación interna, Chile Septiembre de 2004
6. Hughes Owen F., Ship Structural Design, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Jersey City, New Jersey 1983
7. Internacional Association of Classification Societies, Shipbuilding and Repair Quality Standard for New Construction, LR Technical Association, 1998-1999
8. Marín, J., Estructuras Navales II, Notas de Clase, ESPOL, Fac. Ing. Marítima y CC. del Mar, Guayaquil 2003
9. Puig, J., Teoría del Buque, Estabilidad, Varada e inundación, Edición UPC, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona 1996
10. 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 Ing. Naval, ESPOL, Fac. Ing. Marítima y CC. del Mar, Guayaquil 1997
11. Soto del Valle B. y Fajardo M., Compuerta Flotante para la ampliación de un dique seco, Empresa Nacional de Astilleros, Habana Enero de 1991

12. Traung Jan-Olof, FAO, Fissling Boats of the World: 3, Fishing News (Books) Limited, London, EC4, England 1967